

NN 8201 , 341

346 KWANTITATIEVE ASPECTEN VAN  
HUMUSOPBOUW  
EN HUMUSAFBRAAK



IAC. KORTLEVEN

NN08201.341

## STELLINGEN

1

Het humusonderzoek behoort niet tot het bemestingsonderzoek.

2

Bij de aardappel worden de gehalten aan een aantal aminozuren en suikers in de knol beïnvloed door het groeiritme.

3

De humositeit, zoals deze wordt geformuleerd door BENNEMA en VAN DER WOERDT, geeft de landbouwkundige waardering van de humus onjuist weer.

S. B. HOOGHOUTD e.a. *Versl. Landbouwk. Onderz. nr. 66. 10 (1940).*  
Dit proefschrift.

4

Het verdient aanbeveling, dat de grens van wat geacht wordt tot de wetenschap der bodemkunde of pedologie te behoren, duidelijker wordt afgebakend dan thans het geval is.

5

Het systeem Pasveer voor zuivering van rioolwater verdient ruimere toepassing.

6

Voor het opheffen van de bezwaren, welke de kwaliteit van de openbare wateren in de Veenkoloniën aankleven, verdienen ten aanzien van het afvalwater van aardappelmeelfabrieken systemen, waarmede waardevolle bestanddelen uit het vruchtwater worden teruggewonnen, de volle aandacht.

7

De door WESTENBERG voorgestane methode van uitdunnen van monoclonale okulatietuinen van *Hevea brasiliensis* moet als ondeugdelijk van de hand gewezen worden.

M. G. WESTENBERG, *De Bergcultures* 23 (1955).

8

Bij de kultuur van koffie kan, zoals in de Dominicaanse Republiek het geval is, het onderhoud zodanig verwaarloosd worden, dat recuperatie onmogelijk is.

9

De vuilverwerking is niet een aangelegenheid, waarin de beslissingsbevoegdheid uitsluitend in handen van het Gemeentebestuur behoort te zijn.

De omschrijving van het begrip „meststof” in de Meststoffenwet 1947 is onjuist.

Aan een regeling, welke het mogelijk zou maken wethouders te benoemen uit anderen dan de zitting hebbende raadsleden zijn naast voordelen ook onmiskenbare nadelen verbonden.

**KWANTITATIEVE ASPECTEN VAN  
HUMUSOPBOUW EN HUMUSAFBRAAK**

Dit proefschrift met stellingen van  
JACOB KORTLEVEN,  
landbouwkundig ingenieur,  
geboren te Hellevoetsluis, 29 mei 1905,  
is goedgekeurd door de promotor,  
dr. A. C. SCHUFFELEN,  
hoogleraar in de landbouwscheikunde.

*Wageningen, 21 november 1962*

*De Rector Magnificus  
der Landbouwhogeschool,  
W. F. ELISVOOGEL*

# KWANTITATIEVE ASPECTEN VAN HUMUSOPBOUW EN HUMUSAFBRAAK

MIT ZUSAMMENFASSUNG

QUANTITATIVE ASPEKTE VON  
HUMUSBILDUNG UND HUMUSABBAU

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD  
VAN DOCTOR IN DE LANDBOUWKUNDE  
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS, IR. W. F. EIJSSVOOGEL,  
HOGLERAAR IN DE HYDRAULICA, DE BEVLOEIING,  
DE WEG- EN WATERBOUWKUNDE EN DE  
BOSBOUWARCHITECTUUR,  
TE VERDEDIGEN TEGEN DE BEDENKINGEN  
VAN EEN COMMISSIE UIT DE SENAAT  
VAN DE LANDBOUWHOGESCHOOL TE WAGENINGEN  
OP VRIJDAG 22 FEBRUARI 1963 TE 16 UUR

DOOR

JACOB KORTLEVEN



CENTRUM VOOR LANDBOUWPUBLIKATIES EN LANDBOUWDOCUMENTATIE  
WAGENINGEN 1963

*Opgedragen aan  
Ariane en Irene,  
mijn beide kleindochtertjes*

## VOORWOORD

Hooggeleerde SCHUFFELEN, Hooggeachte Promotor, het onderzoek in dit proefschrift beschreven, is noch op Uw aanwijzing ontstaan, noch onder Uw leiding uitgevoerd. Niettemin hebt U het resultaat als proefschrift willen aanvaarden en de taak van Promotor op U willen nemen.

De voorbereiding van het proefschrift en de daaruit voortvloeiende besprekingen zullen bij mij in dankbare herinnering blijven. Een moeilijkheid voor de Promotor, die voor U geen moeilijkheid bleek te zijn, is het feit, dat tussen ons niet de verhouding leermeester-oudleerling bestaat. De grondslagen van de landbouwscheikunde werden bij mij n.l. gelegd door wijlen Prof. Dr. J. H. ABERSON. Deze hooggewaardeerde leermeester, voorts Prof. Dr. E. REINDERS en de Hoogleraren wijlen Prof. Dr. M. J. VAN UVEN en wijlen Prof. Dr. J. A. HONIG, hebben mij de kritisch-wetenschappelijke instelling bijgebracht, welke nodig is voor de onderzoeker.

Hooggeleerde REINDERS, U eiste veel van Uw studenten, maar U wist hun ook veel te geven, ook buiten Uw eigen studievak. Ik beschouw het nog steeds als een groot voorrecht onder Uw leiding de algemene plantkunde te hebben bestudeerd.

Ik ben het Bestuur en de Directeur van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen erkentelijk, dat zij mij in de gelegenheid hebben gesteld de uitkomsten van een aan dat Instituut verricht onderzoek neer te leggen in een proefschrift.

De collega's, die met mij de vroegere Werkgroep Organische Stof hebben gevormd, en collega Drs. VAN DIJK, hen allen ben ik dankbaar voor de aangename en vruchtbare samenwerking op dit vakgebied.

Naast Ir. VENEKAMP en de Heer WOLF, die mij een moeilijk en zeer specialistisch onderdeel uit handen genomen hebben, ben ik in de laatste, maar zeker niet de minste plaats, zeer veel dank verschuldigd aan mijn naaste medewerkers. Zonder Uw vertrouwen in de deugdelijkheid van het onderzoek, waarde BOUWKAMP, ware ikzelf wellicht wankelmoedig geworden en zonder de steun van Mej. G. TELKAMP bij het verrichten van het eindeloze machinale rekenwerk zou deze studie niet tot een afsluiting gekomen zijn.

Tenslotte past een woord van grote dank aan het Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie voor de voortreffelijke verzorging van de uitgave van dit proefschrift, in het bijzonder Mr. A. RUTGERS voor de vlotte en aangename samenwerking daarbij ondervonden.





# INHOUD

Verklaring van gebruikte termen en symbolen . . . . .	0
<b>I THEORETISCH GEDEELTE . . . . .</b>	<b>1</b>
1 Inleiding. . . . .	1
2 Stand van het vraagstuk. . . . .	5
3 Ontwikkeling van de theorie . . . . .	14
4 Vereffening en foutenberekening . . . . .	22
<b>II TOETSING VAN DE THEORIE. . . . .</b>	<b>31</b>
1 Inleiding. . . . .	31
2 Geen aanvoer van organische stof. . . . .	31
3 Soorten en hoeveelheden organische stof. . . . .	35
4 Stalmesthoeveelheden . . . . .	42
5 Het onderzoek van organische bemesting in bedrijfsverband . . . . .	45
6 Een praktijkvoorbeeld. . . . .	47
7 Directe bepaling van $K_1$ . . . . .	49
8 Bespreking. . . . .	56
<b>III TOEPASSING BIJ GRONDSOORTEN VAN VERSCHILLENDE ZWAARTE . . . . .</b>	<b>60</b>
1 Inleiding. . . . .	60
2 Het verband tussen de gehalten aan humus en afslibbare delen in het algemeen . . . . .	60
3 Het verband tussen de gehalten aan humus en afslibbare delen in een veldproef . . . . .	66
4 Experimenteel gedeelte I. . . . .	67
5 Experimenteel gedeelte II . . . . .	74
6 Bespreking. . . . .	78
<b>IV TOEPASSING BIJ VERSCHILLENDE VORMEN VAN ORGANISCHE STOF . . . . .</b>	<b>82</b>
1 Inleiding. . . . .	82
2 Stadsvuilcompost en humusvorming. . . . .	82
3 Papierpulp en humusvorming. . . . .	88
4 Bespreking. . . . .	90
<b>V DE HUMOSITEIT. . . . .</b>	<b>92</b>
<b>VI SAMENVATTING EN CONCLUSIES . . . . .</b>	<b>98</b>
ZUSAMMENFASSUNG MIT SCHLUSSFOLGERUNGEN . . . . .	103
LITERATUUR. . . . .	108

## VERKLARING VAN GEBRUIKTE TERMEN EN SYMBOLEN

Humus	Organische stof in de grond na humificatie gedurende een jaar
Humus (Ist)	Humusbepaling door oxydatie met kaliumpermanganaat
Humus (elem)	Humusbepaling door het koolstofgehalte van de grond (bepaald met de elementairanalyse) te vermenigvuldigen met 1,724
Gloeiverlies	Humusbepaling door gloeien van de grond (met korrekties voor uit kalk uitgedreven CO <sub>2</sub> en voor door zware gronden vast gebonden water)
Afslibbare delen	Delen met een diameter kleiner dan 16 micron, ook wel afgekort tot afslibbaar en nog korter: slib
Slib	Slechts gebruikt in de zin van afslibbare delen
d.o.s.	Droge organische stof
$\Sigma$	Sommatie
$\sigma$	Standaardafwijking van de enkele waarneming, verkregen uit een steekproef.

N.B. De bodemscheikundige terminologie is in overeenstemming met die in nr. (47) van de literatuurlijst, de wiskundige terminologie en gebruikte berekeningsmethoden met die van nr. (52).

# I THEORETISCH GEDEELTE

## 1 INLEIDING

MASCHHAUPT maakte in een van zijn werken (44) <sup>1</sup> de opmerking, dat 'de organische bestanddelen en hunne betekenis voor bodem en gewas een zeer uitgebreid en moeilijk toegankelijk gebied vormen'. Om in dit uitgebreide gebied te kunnen doordringen moest ergens, waar dan ook, de moeilijke toegankelijkheid overwonnen worden. Dit was de situatie toen in 1947 begonnen werd met de studie van humus en organische stof welke tot deze publikatie geleid heeft.

Had de probleemstelling van de aanvang af duidelijk voor ogen gestaan, dan was de aanpak daardoor aangegeven geweest. Dit was echter niet het geval. De complexe natuur van de meeste organische meststoffen, welke naast organische stof steeds een groot aantal voedende en stimulerende elementen bevatten, die alle gelijktijdig hun werking uitoefenen, evenals de velerlei werkingen welke van de bodemhumus uitgaan althans daaraan werden – en worden – toegeschreven boden een grote keuze aan mogelijkheden voor onderzoek. Niet bekend was echter, welke eigenschap het meest kenmerkend was, zodat een doelbewuste keuze niet mogelijk was.

Onder invloed van de studie der minerale bemesting werd de werking van organische bemesting opgevat als het gelijk staan aan bepaalde hoeveelheden  $N$ ,  $P$  en  $K$  in minerale meststoffen. Dit bepaalde in die gedachtengang de waarde van organische meststoffen. Daar echter zowel het gehalte als de werking van de voedende elementen in organische meststoffen vrijwel steeds geringer zijn dan die in minerale, kwam de organische bemesting er niet al te best af. Het mag merkwaardig heten, dat de organische bemesting desondanks niet achterwege is gelaten, maar dat integendeel de praktijk doorging met de toepassing ervan en dat het onderwijs doorging te doceren, dat organische bemesting onmisbaar was voor de blijvende vruchtbaarheid van de grond (oude kracht!), voor de vochtvoorziening, als structuurregelend agens en als voedselbron voor de zo nuttige bodemflora en -fauna. Dit alles echter, men mag wel zeggen, zonder voldoende bewijs <sup>2</sup>.

De verklaring voor deze merkwaardige situatie is deze, dat ondanks de slechte resultaten met de organische bemesting verkregen gezien vanuit NPK standpunt, men beseftte, dat hiermede niet alles gezegd was; eeuwenoude ervaring hield de overtuiging levendig, dat de humus een nuttige functie vervulde.

<sup>1</sup> Het cijfer tussen ( ) verwijst naar de lijst van geraadpleegde literatuur.

<sup>2</sup> Het is interessant te vermelden, dat deze vage en niet wetenschappelijk gefundeerde uitspraken behoren tot de zeker niet omvangrijke officieel vastgestelde landbouwkundige kennis. Zij worden nl. vermeld in een nota (38) door de minister van Landbouw aangeboden aan de Tweede Kamer: hierin worden opgesomd 7 nadelen door het weglaten en 5 voordelen van het toepassen van organische bemesting.

Aanvankelijk bestond het onderzoek van organische meststoffen daaruit, dat men b.v. om te zien of de omslachtige organische bemesting kon worden vervangen door de goedkoper toe te dienen minerale bemesting, een zekere van oudsher gebruikelijke stalmestgift vergeleek met een optimaal geachte dosering van kunstmeststoffen. Hoewel het laatste een willekeurig en variabel begrip is, bleef toch de organische bemesting alleen als regel achter bij de minerale, daar deze de plantenvoedende elementen in grotere hoeveelheden toevoerde. Hierbij dient vermeld te worden, dat, zoals de klassieke proeven o.a. van Rothamsted en in Nederland ook de oude proeven WF 1-4 op Ameland leren, bij voldoende lange voortzetting de organische bemesting in zijn resultaten de kunstmestbemesting ging inhalen. In het algemeen werden de proeven echter maar gedurende een jaar of enkele jaren voortgezet, daarna gestaakt, waarna elders weer nieuwe werden ingezet (4).

Geleidelijk kwam hierin verandering, doordat men in plaats van de totale bemestende werking der organische meststoffen te vergelijken met die van een 'volledige' bemesting met kunstmest, de waarde van de elementen *N*, *P* en *K* in de organische bemesting afzonderlijk wilde weten in vergelijking met die van hetzelfde element in minerale vorm.

In dit stadium verkeerde men nog in 1947, zodat het onderzoek werd begonnen met de afwerking van de waardebepaling van de plantenvoedende elementen in diverse organische meststoffen. In deze periode werden de begrippen 'werkingscoëfficiënt' en 'restwerking' geboren (22) en (5) <sup>1</sup>.

De werkingscoëfficiënt geeft aan hoeveel procent de opbrengstverhoging van b.v. 1 kg stikstof in stalmest uitmaakt van de opbrengstverhoging door 1 kg *N* in een minerale meststof. Heeft men dit bepaald en zijn de werkingscoëfficiënten voor de hoofdvoedingselementen bekend dan zijn daarmee de hoeveelheden werkzame stikstof, fosfaat, kali, magnesium, die met een zekere hoeveelheid van een organische meststof worden gegeven bekend. Vergelijkt men nu deze meststof met een zekere minerale bemesting, dan moet boven de organische bemesting dezelfde minerale bemesting worden gegeven als in het kunstmestobject verminderd met de hoeveelheden werkzame bestanddelen in de organische bemesting. Aan voedende elementen zijn beide dan gelijk. Indien nu de organische bemesting in produktie uitkomt boven de zuiver minerale bemesting, dan is dit het *resteffect*, dat is de werking van de organische stof als zodanig. Hierin ligt reeds de gedachte besloten, dat organische bemesting niet zonder meer dient om plantenvoedende bestanddelen toe te dienen. Het is trouwens ook duidelijk, dat dit bedrijfseconomisch niet rationeel is. De waarde ligt dan ook niet in de direct voedende werking, maar in de restwerking: deze vormt het doel van organische bemesting. Met de waardebepaling van organische meststoffen en de opvattingen daaromtrent, gehuldigd in het NPK-stadium van het landbouwscheikundig onderzoek, werd vrij radicaal gebroken. Het onderzoek inzake

---

<sup>1</sup> De begrippen worden reeds gehanteerd door FERWERDA (5), die echter voor het thans ingeburgerde woord werkingscoëfficiënt de term vervangingswaarde gebruikt.

organische stof en humus ging vanaf die tijd een eigen weg en ontwikkelde zich geheel los van het overige bemestingsonderzoek, daar het al spoedig bleek, dat de nieuwere opvattingen een eigen aanpak, een eigen proefveldtechniek, een eigen verwerkings-techniek en bovenal een zeer lange proefduur vergden.

Dit laatste, alles overheersende argument kwam naar voren toen na deugdelijke bepaling van de werkingscoëfficiënten (welk onderzoek nu als in hoofdzaak afgesloten mag worden beschouwd) en het in rekening brengen ervan, in proeven van hoogstens enkele jaren slechts een zeer gering, soms zelfs in het geheel geen resteffect optrad. Daartegenover bleek, dat in enkele oudere proeven wel een resteffect naar voren kwam, en dat hierin ook de humusgehalten merkbaar aan het stijgen waren.

Op grond van deze beide feiten werd ingevoerd de onderscheiding tussen effecten op korte termijn en die op lange termijn (22). De eerste zijn die als gevolg van de direct voedende elementen in de organische meststoffen; zij werden in de vroegere stadia van het onderzoek als overheersend beschouwd. Thans worden zij nog wel van belang geacht om hun economische betekenis. Hun betekenis voor de organische bemesting is echter niet primair doch slechts van secundaire aard. Zij vormen thans voor het onderzoek geen probleem van betekenis meer.

De effecten op lange termijn zijn die, welke zich niet direct zichtbaar uiten, maar eerst door cumulatie gedurende vele jaren een zodanige omvang aannemen, dat zij onomstotelijk zijn vast te stellen. Zij vormen het doel van organische bemesting en van het onderzoek inzake humus en organische stof. Hieraan moet de techniek van het onderzoek worden aangepast.

Tot omstreeks 1950 heerste bij velen nog de gedachte, dat groenbemesting, stro, stalmest, in een jaar tijd restloos werden afgebroken, of zelfs konden leiden tot aantasting van de aanwezige voorraad aan humus. Als dit zo was zouden er in het eerste geval alleen maar korte-duureffecten optreden en zouden de lange duureffecten in het tweede geval nadelig zijn (althans dit zou men mogen verwachten, daar gronden zonder of met weinig humus, die op den duur toch zouden moeten ontstaan, op grond van wereldwijde ervaring niet tot de vruchtbaarste blijken te behoren). De proeven begonnen echter, en dit voor alle toegepaste materialen, eerst onduidelijk maar gaandeweg steeds duidelijker, verhoging van de humusgehalten te vertonen.

Eerst toen kon een scherpe probleemstelling worden geformuleerd:

1. Wat is het verband tussen de hoeveelheden toegediende organische stof en de humusgehalten.
2. Wat is het verband tussen de humusgehalten en de produktiviteit.
3. Waaruit bestaan de effecten op lange termijn en hoe worden zij teweeggebracht; men kan hier denken aan verschillende kwaliteiten van humus en aan de invloed daarvan via structuur, waterhoudendheid enz. op de produktiviteit.

Toen eenmaal een duidelijk werkprogramma voor ogen stond werd begonnen aan de studie van de vraag betreffende het verband tussen de toegediende hoeveelheden organische stof en de humusgehalten. De resultaten die hierbij tot nog toe verkregen

zijn zullen thans worden besproken; de behandeling van het werk dat gedaan werd ter beantwoording van de beide andere vragen is bestemd voor latere publikaties.

Bij het zoeken naar het verband sub 1 werd van meet af aan gestreefd niet naar een kwalitatieve benadering zoals: toediening van organische stof verhoogt c.q. verlaagt het humusgehalte – maar uitsluitend naar een kwantitatieve. Deze benaderingswijze bracht mee, dat gezocht werd naar hetzij een lijn, maar liever nog een formule, tot uitdrukking brengende het verloop der humusgehalten  $y$  in de tijd  $t$  bij voorziening met hoeveelheden organische stof  $x$ .

Om een zodanig verband op het spoor te komen stonden twee wegen open:

1e de eigen proeven lang genoeg doorvoeren en trachten hieruit, evenals uit de in de literatuur beschreven proeven wetmatigheden te vinden,

2e het opstellen van een hypothese om deze aan het beschikbare materiaal te toetsen.

De eerste weg betekende, dat het lang geduurd zou hebben voor deze proeven voor het doel lang genoeg gelopen zouden hebben, terwijl ook de meest bekende oude proeven uit de literatuur niet voldoende materiaal opleverden.

De tweede weg zou wat de toetsing betreft ook aanvankelijk te weinig materiaal opgeleverd hebben. Maar bovenal leek een onoverkomelijk bezwaar, dat er voor het opstellen van een hypothese meer basiskennis aanwezig moet zijn dan het geval was. Het toeval is echter te hulp gekomen en heeft ertoe geleid, dat deze weg gekozen is.

Dit toeval bestond in het overnemen van een gedeelte van de oudste proef van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (Pr. 1, thans Pr. 1265) dat tot heden is voortgezet. Hiervan waren door MASCHHAUPT (44) humusgehalten gepubliceerd. Bestudering hiervan leidde tot het opstellen van twee hypothesen. Op deze hypothesen werd een theorie opgebouwd. Toetsing dezer theorie aan het aanwezige feitenmateriaal vereiste een zeer speciale methodiek, welke hiervoor ontwikkeld moest worden. Bij de toetsing bleek de oorspronkelijke theorie te eenvoudig te zijn. Deze luidde n.l. in twee stellingen kort samengevat:

- 1 van de toegevoegde organische stof wordt een vast percentage binnen een jaar humus.
- 2 van de humus wordt per jaar een vast percentage afgebroken.

De tweede stelling bleek niet geheel juist te zijn, daar regelmatig blijkt, dat een gedeelte van de humus niet aantastbaar is.

Met deze ene uitzondering, die overigens bij eenvoudige toepassing van de theorie niet naar voren komt doch slechts ter sprake komt bij dieper gaand onderzoek, blijkt de theorie in goede overeenstemming met de feiten te zijn.

Verwacht wordt, dat deze theorie een basis vormt voor de studie en de kennis van organische stof en humus, niet alleen op landbouwkundig doch evenzeer op bodemchemisch en biologisch gebied.

Verdere uitbouw zal noodzakelijk zijn, daar het thans voorhanden materiaal niet

alle bronnen van organisch materiaal en alle gronden omvat. Tot nog toe zijn n.l. onderzocht de minerale gronden, waarbij aandacht is besteed aan het bekende verband tussen het gehalte aan afslibbare delen en het humusgehalte bij klei- en zavelgronden bij gelijke voorziening met organisch materiaal. Daarbij komen reeds de meest gebruikelijke vormen van organische bemesting als stalmest, groenbemesting, en wortelresten ter sprake.

Een speciale plaats zal daarna nog worden ingeruimd voor een behandeling van de huisvuilcompost (met zijn gehalte aan elementaire koolstof) en de rol van stikstof bij de humusvorming uit papierpulp.

In deze inleiding is het noodzakelijk enige woorden te wijden aan de in 1945 verschenen publikatie van HÉNIN en DUPUIS (8). Deze schrijvers stellen dezelfde beide theses.

Een kenmerkend verschil is, dat in deze studie door bestaand feitenmateriaal genoopt werd tot het aanvaarden der beide stellingen, terwijl dit bij HÉNIN en DUPUIS niet het geval was. Zij poneren ze zonder meer, zelfs zonder vermelding van enig feit of enige gedachtegang welke daarvoor steun biedt.

Verdere verschillen zijn, dat HÉNIN en DUPUIS hun formule ontwikkelen door integreren van differentiaalvergelijkingen, terwijl in dit geschrift de theorie van de meetkundige reeksen toegepast wordt. Hoewel er wel een fundamenteel verschil tussen beide bestaat in zoverre dat de ene methode werkt met oneindig kleine en de andere met jaarlijkse aangroeiingen is het resultaat praktisch gelijk. Beide methoden zullen behandeld worden en vanwege de gelijkheid in uitkomsten door elkaar heen gebruikt worden.

De toepassing, voorzover beide Franse schrijvers proberen te komen tot waarden voor de beide coëfficiënten is uiterst zwak, zelfs foutief. In tegenstelling daarmee wordt bij het eigen onderzoek een uiterst strenge methodiek volgens welke een gegeven feitenmateriaal behandeld moet worden, ontwikkeld, waarbij ook maten voor de betrouwbaarheid der bereikte uitkomsten worden verkregen. Als gevolg hiervan bleek – zoals reeds werd opgemerkt – de tweede stelling niet geheel juist te zijn, wat een wijziging in de formulering meebracht. Na deze wijziging is de nieuwe formule, welke de hoogte der humusgehalten onder invloed van de voorziening met organische stof weergeeft, niet meer gelijklopend aan die van HÉNIN-DUPUIS.

## 2 STAND VAN HET VRAAGSTUK

Als men de stand van het vraagstuk wil bespreken aan de hand van wat de literatuur ons daarover mededeelt komt men voor een moeilijkheid te staan. Het aantal uitspraken is n.l. zo groot, dat het ondoenlijk is zelfs maar te pogen een gedeelte daarvan te vermelden.

Het zou ook weinig zinvol zijn zich deze moeite te getroosten, daar vrijwel alle niet berusten op proefondervindelijke gegevens, maar in wezen meer of minder goed gefundeerde 'opvattingen' zijn.



Een van deze opvattingen is, dat er onder elk samenstel van omstandigheden van grond, klimaat, bodembehandeling, bemesting, een evenwichtstoestand bestaat, waarbij het humusgehalte, bij voortduren van die omstandigheden, onveranderd blijft. Deze opvatting zal blijken juist te zijn. Zij berustte op deugdelijke waarneming, maar was niet afdoende bewezen.

Een andere opvatting is, dat het in cultuur nemen van grond, speciaal voor uitoefening van de akkerbouw, leidt tot afbraak van humus. Dit is in vele gevallen inderdaad zo. Toch is deze opvatting in zijn algemeenheid niet juist. Het zal blijken, dat het er geheel van afhangt met welk humusgehalte men begint. Deze opvatting stamt dan ook voornamelijk uit de Verenigde Staten van Noord-Amerika, waar men, steeds verder naar het Westen trekkende, bij voortdurend prairie- en bosgronden in cultuur nam. In deze natuurlijke vegetaties, met een hoge aanvoer van organische stof had zich een hoger evenwicht ingesteld dan in overeenstemming was met de in de akkerbouw heersende omstandigheden. Was men evenwel uitgegaan van zeer humusarme gronden, dan zou het humusgehalte ook onder akkerbouwomstandigheden gestegen zijn.

In Europa heeft men deze laatste opvatting overgenomen en zonder enig bewijs stellingen als de volgende geponoerd:

- 1 kalk verbrandt de humus
- 2 stikstof verteert de humus
- 3 kunstmest is nadelig voor humusvoorraad en humuskwaliteit (en daardoor voor de gezondheid van bodem, plant, dier en mens)
- 4 de in de akkerbouw noodzakelijke grondbewerking is verderfelijk voor de humus (de 'chirurgie van de bouwvoor' heeft een schrijver dit eens genoemd!)
- 5 in vroeger eeuwen, toen er geen kunstmest bestond en slechts organische en groenbemesting mogelijk was – behalve het gebruik van kalk, as, terpaarde e.d. – waren de gronden 'gezonder' evenals de erop verbouwde gewassen en de dieren en mensen die daarvan leefden.

De eerste stelling is weerlegd in (21), de tweede en de derde in (20). De vierde is nog niet weerlegd; echter is aan akkerbouw onherroepelijk grondbewerking verbonden en moet het bewijs, dat grondbewerking leidt tot humusverlies nog geleverd worden. Ten aanzien van de vijfde stelling zij opgemerkt, dat in (27) is aangetoond, dat in Nederland in de voorkunstmesttijd per ha niet meer organisch materiaal werd gebruikt dan thans. BARBIER (1) constateert hetzelfde voor Frankrijk. Ook is een feit, dat het met de gezondheid en de levensduur der Nederlanders in vroegere tijden er zeker niet beter voorstond dan tegenwoordig.

Aan al die opvattingen en onbewezen stellingen heeft men dus geen houvast. Om de stellingen te kunnen bewijzen dan wel ontzenuwen moet men beschikken over exacte kennis. Het aantal onderzoekers, dat er naar gestreefd heeft te komen tot wetmatigheden, welke het verband tussen de toevoer van organisch materiaal en de voorraad humus aangeven, is niet groot. Evenals deze studie begonnen is zonder het werk van deze onderzoekers te kennen (en reeds vrij ver gevorderd was toen daarvan kennis werd genomen) zo hebben zij, zoals uit de jaartallen van hun publikaties en uit de

door hen vermelde literatuur af te leiden is, onafhankelijk van elkaar gewerkt.

Van deze onderzoekers kunnen genoemd worden SALTER en GREEN, WOODRUFF, HÉNIN-DUPUIS en JENNY. Het zal blijken, dat de diverse formuleringen een samenhang vertonen, in dier voege, dat er een steeds verder gaande verfijning in wordt aangebracht.

SALTER en GREEN (30) ontwierpen een formule voor het verloop van de hoeveelheden (of gehalten) aan  $C$  en  $N$  in de grond. Zij stelden, dat de winst of het verlies aan  $C$  en  $N$  per jaar door een bepaald gewas evenredig is aan de hoeveelheden  $C$  en  $N$  aanwezig bij het begin van dat jaar, met voor elk gewas een bepaalde evenredigheidsconstante. Dus  $C_t = C_0 K^t$  en  $N_t = N_0 K^t$  na  $t$  jaar. Dezelfde formule maar dan  $H_t = H_0 K^t$  hadden zij kunnen opstellen voor humus, daar het verloop in de tijd van  $C$  en  $N$  vrij nauw het verloop van de humus volgt.

Deze exponentiële functie kan niet juist zijn alleen al op de volgende wiskundige gronden.

- 1 Als  $C_0$  (of  $N_0$  of  $H_0$ ) = 0 gebeurt er niets, hetgeen in strijd is met de ervaring.
- 2 Als  $K > 1$ , dus bij een stijgend humusgehalte, stijgen  $C_t$  (en  $N_t$  en  $H_t$ ) onbegrensd. Ook dit is in strijd met de ervaring, welke leert, dat er op de duur altijd een evenwichtstoestand intreedt.

Evenwel, als  $C \neq 0$  en bij beperkte  $t$  gaat deze formulering bij benadering op. Dan blijft echter toch het bezwaar, dat de formule slechts de humusgehalten weergeeft maar geen verband legt. De  $K$  geldt per geval, dus per gewas – c.q. rotatie – bij een bepaalde bemesting en bij een bepaalde uitgangstoestand. Voor elk ander geval treedt een andere  $K$  op. Zo voor elk gewas of elke rotatie van gewassen, voor eenzelfde gewas met of zonder bemesting (wortelproductie!), stijgend en dalend humusgehalte, terwijl voorts ook eventuele organische bemesting in  $K$  verdisconteerd zit. Daar het humusgehalte steeds de resultante is van de aanvoer en de afbraak van humus, en deze gedachte in de formulering van SALTER en GREEN ontbreekt kan men er in elk op zichzelf staand geval mee werken, maar moet men, om tot een de gehele humushuishouding samenvattende gedachtengang te komen, het verband tussen  $K$  en de genoemde variabele factoren opsporen. Dit hebben SALTER en GREEN niet gedaan.

Aan dit bezwaar wordt tegemoet gekomen door de formulering van WOODRUFF (37), welke het verloop van  $N$  formuleert. De formule luidt:

$$N = N_0 e^{-rt} + \frac{A}{r} (1 - e^{-rt})$$

Hierin is  $N$  de stikstofhoeveelheid of het gehalte bij tijd  $t$ ,  $N_0$  idem in de uitgangstoestand,  $r$  is een maat voor de afbraaksnelheid van de organische stof in %,  $A$  is de jaarlijkse aanvoer van  $N$ .

De grondgedachte is dus, dat er jaarlijks een vast percentage van de organische stof wordt afgebroken. Echter worden bij voortduring organische stof en stikstof op een onjuiste wijze met elkaar verwisseld. Want weliswaar is  $r$  de afbraaksnelheid van de organische stof en wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende vormen van

humus met verschillende  $r$  waartoe het tweede lid van de formule wordt uitgebreid met eenzelfde tweetal termen voor elke afzonderlijke vorm, hier wordt echter niet mee gewerkt. Daarentegen wordt gewerkt met de enkelvoudige formule per gewas en wordt  $r$  bepaald door de door het gewas opgenomen  $N$  te delen door de hoeveelheid  $N$  in de grond, bij afwezigheid van bemesting. De factor  $r$  geeft dus, zoals deze door de schrijvers gehanteerd wordt, in feite niet weer een afbraak van organische stof, maar een opnemend vermogen voor bodemstikstof van de verschillende gewassen. Bij eenzelfde afbraak worden dus met verschillende gewassen verschillende waarden voor  $r$  gevonden. Deze waarden worden dan constant gehouden, ook als in  $A$  zijn inbegrepen diverse vormen van bemesting als stalmest en kunstmest. Zelfs op de laatste wordt volgens de formule dezelfde  $r$  toegepast. Afbraak van humus, beschikbaarheid van  $N$  en opname van  $N$  worden dus door elkaar gehaald en verward.

Dit is evenwel slechts een verkeerde toepassing door de opsteller van de formule, die ook op juiste wijze zou kunnen worden gebruikt.

Echter, ook dan nog blijft een bezwaar, dat de afbraaksnelheid van de humus in de grond en die van de jaarlijkse aanvoer van organisch materiaal (in feite spreekt WOODRUFF hier van stikstof!) gelijk zijn. Daarentegen leert de ervaring, dat van toegediende organische stof in een jaar in het algemeen zo veel verdwijnt, dat er analytisch geen toename van het humusgehalte is vast te stellen. Of, met andere woorden, tijdens de humificatie van het toegevoegde organische materiaal moet er percentsgewijze veel meer verdwijnen dan bij de afbraak van de humus in de grond.

Dus ook bij juiste toepassing van de formule en dan op organische stof, – waardoor het opnemen van kunstmeststikstof vanzelf uitgesloten is – leidt het gelijkstellen van  $A$  aan de jaarlijks toegevoegde hoeveelheid organisch materiaal waarop de verder constante  $r$  van de bodemhumus gaat werken, in plaats van aan de door humificatie eruit gevormde humus, tot een veel te hoge  $A$ . Dit bezwaar wordt ondervangen in de hierna te behandelen formulering.

Als in WOODRUFF's formule de jaarlijkse aanvoer  $A = 0$ , dan ontstaat  $C_t = C_0 e^{-rt}$ . Dan komt dus de constante  $e^{-r}$  in de plaats van de  $K$  bij SALTER en GREEN, waarmee echter SALTER-GREEN de humusgehalten beschrijven als resultante van aanvoer en afbraak terwijl Woodruff's gereduceerde formule (bij  $A = 0$ ) de afbraak alleen beschrijft en voor de aanvoer een tweede term toevoegt.

HÉNIN en DUPUIS (8) stelden voor het verloop van de humusgehalten de volgende formule op:

$$\ln \frac{K_1 x - K_2 y}{K_1 x - K_2 y_0} = -K_2 t.$$

Hierin is  $x$  de jaarlijkse aanvoer van organische stof,  $K_1$  de breuk aangevende welk gedeelte daarvan gehumificeerd wordt,  $y$  het lopende humusgehalte en  $y_0$  dat in de begintoestand,  $K_2$  de breuk die het gedeelte van de humus, dat in een jaar wordt afgebroken aangeeft en  $t$  de tijd in jaren. Deze formule wordt in paragraaf 3 uitvoeriger behandeld.

Als de formule wordt omgezet in

$$y = y_0 e^{-K_2 t} + \frac{K_1 x}{K_2} (1 - e^{-K_2 t})$$

dan springt de gelijkenis met de formule van WOODRUFF direct in het oog. Een ogenschijnlijk klein, maar in wezen zeer belangrijk verschil is gelegen in het feit, dat de  $A$  van WOODRUFF's formule is vervangen door  $K_1 x$ . Dat wil zeggen, dat de afbraak (volgens de factor  $K_2$ ) niet werkzaam is op de totale aanvoer, maar op het tot humus geworden gedeelte daarvan, en dat in de totale aanvoer (bij toepassing van de formule van HÉNIN-DUPUIS op stikstof) *niet* de kunstmeststikstof wordt opgenomen, maar slechts die in organische vorm.

Tot een gelijkwaardige formule wordt in de volgende paragraaf, zij het langs een andere weg, gekomen, waarna deze aan waarnemingsmateriaal wordt getoetst, dat aanleiding zal geven tot verfijningen en verdere beschouwingen.

Een uitbreiding van dezelfde formule door HÉNIN, MONNIER en TURC (9) met gescheiden behandeling van stabiele en niet stabiele humus maakt bij het onzekere criterium van wat stabiel en niet stabiel is, de zaak alleen maar nodeloos gecompliceerd.

Een variant op deze formule is nog opgesteld door JENNY, GESSEL en BINGHAM (14). Deze werkten niet met humus in, maar op de grond n.l. in de vorm van strooisel (blad, vruchten, twijgjes, naalden enz.) in bossen en de daaruit ontstane ruwe humus. Zij stelden voor de ruwe humus en voor het strooisel dezelfde constante afbraakcoëfficiënt  $k$ . Hoewel JENNY c.s. zelf het woord humificatie niet gebruiken wordt in hun beschouwingen het verse plantenmateriaal toch humus. Men zou dus ook kunnen zeggen, dat tijdens de humificatie eenzelfde percentage verloren gaat als jaarlijks bij de humusafbraak. Dus vergelijkende met de formulering van HÉNIN-DUPUIS is  $1 - K_1 = k$  en  $K_2 = k$ . Het zal later blijken, dat voor humus in cultuurgrond  $1 - K_1$  en  $K_2$  niet gelijk zijn (dat de eerste zelfs omstreeks  $30 \times$  zo groot is als de tweede); mogelijk is dat voor de strooisellaag op bosgronden wel het geval.

JENNY c.s. gaan bij het opstellen van hun formule uit van een naakte grond na verwijdering van de ruwe humus en komen dan tot de formule:

$$y_t = \frac{x(1-k)}{k} \{1 - (1-k)^t\}.$$

Waren zij uitgegaan van een beginhoeveelheid ruwe humus  $y_0$ , dan zouden zij gevonden hebben:

$$y_t = y_0(1-k)^t + \frac{x(1-k)}{k} \{1 - (1-k)^t\}.$$

Dit is dezelfde formule, waartoe op pag. 17 gekomen wordt voor humus in de grond, door in de laatste  $K_1$  te vervangen door  $1 - k$  en  $K_2$  door  $k$  (zie boven) en die in de praktijk gelijke uitkomsten levert als die van HÉNIN-DUPUIS.

Wordt in de formule van JENNY c.s.  $t$  zeer groot (bij benadering oneindig groot) dan ontstaat

$$y_E = \frac{x(1-k)}{k}.$$

Daar dan slechts constanten voorkomen is deze  $y$  constant, dus er is evenwicht; vandaar de notatie  $y_E$ . Daar  $ky_E = x(1 - k)$  is bij het evenwicht de jaarlijkse aanvoer gelijk aan de afbraak. Hieruit vinden wij

$$k = \frac{x}{x + y_E}.$$

De oorspronkelijke formule kan nu ook geschreven worden in de vorm  $y_t = y_E\{1 - (1 - k)^t\}$ . Hieruit volgt, dat de tijd die nodig is om  $y_E$  tot op 5% te benaderen

$$t_{0,95} = \frac{-1,3}{\log(1 - k)}.$$

Met

$$k = \frac{x}{x + y_E} \text{ en } t_{0,95} = \frac{-1,3}{\log(1 - k)}$$

hebben JENNY c.s. gewerkt. De voorraad  $y_E$  werd rechtstreeks bepaald, en  $x$  door in bossen bakken van 1 m<sup>2</sup> te plaatsen, waarin alles werd opgevangen.

Zij vonden:

	$x$ ton/ha	$y_E$ ton/ha	$t_{0,95}$ jaren	$k$
Loofhout in tropisch laagland	7,3-9,4	4,3- 14,6	3-6	0,39-0,61
Eiken op matige hoogte	0,9-1,5	7,2- 25,2	24-52	0,08-0,12
Dennen op grote hoogte	1,0-3,1	47,4-126,4	100-330	0,01-0,03

Was in het laagland de  $x$  niet zoveel groter geweest dan in de beide andere gevallen, maar van dezelfde orde van grootte, b.v. 2, dan zou hiervoor  $y_E$  1,5-2,5 bedragen hebben.

Hoe lager het bos gelegen is, hoe kleiner humusvoorraad er wordt gevormd en hoe sneller het evenwicht zich instelt. Dat komt door de grotere  $k$ .

Afgezien van het verschil in houtsoort en van de vraag of de afbraak van strooisel en ruwe humus inderdaad gelijk is - waarvan de invloed resp. de juistheid niet na te gaan zijn - komt hier een klimaatsinvloed naar voren. Ook dit is een kwantitatief aspect van de humusvorming, n.l. de invloed van het klimaat op de humificatie en de humusafbraak.

Hoewel in deze studie, in hoofdzaak de humusgehalten in Nederland betreffende, het klimaat een te verwaarlozen rol speelt, zal er enige aandacht aan gewijd worden voorzover de klimaatsfactor in verband gebracht kan worden met de boven beschreven formuleringen. Daartoe zal de invloed van het klimaat op de waarden der parameters in de opgestelde formules in het kort worden nagegaan.

Bij JENNY c.s. werd reeds vermeld, dat geconstateerd werd, dat op geringe hoogte in tropisch gebied  $k$  groter was dan in het gebergte. Bij de hoge temperatuur van het tropisch laagland is de afbraak dus sterker dan bij de lagere temperaturen op groter hoogte.

Ook HÉNIN-DUPUIS vermelden een toename van de afbraakcoëfficiënt (hun  $K_2$ ) naar-

mate het klimaat warmer is. Zo constateren zij een waarde van 0,01 voor Nederland en Rusland, 0,02 voor de omgeving van Versailles, 0,03 of hoger in het Middellandse Zeegebied (sous le climat méditerrané), terwijl zij voor de tropische gebieden nog hogere waarden verwachten. Dit verklaart volgens hen de lage gehalten aan humus in warmere gebieden. Deze verklaring, zo zij juist is, is onvolledig, daar zij betekent, dat in de evenwichtstoestand (omdat bij  $t = \infty$  de formule wordt  $y_E = K_1x/K_2$ ) de hogere  $K_2$  het produkt  $K_1x$  moet overheersen. Nu kan in tropische gebieden, vooral de vochtige, de vegetatie zeer uitbundig zijn, dus  $x$  in de vorm van afgevallen resten en wellicht ook van geproduceerde wortelhoeveelheden zou wel eens juist groter kunnen zijn dan in gematigde en koude luchtstreken (evenals bij JENNY c.s.). Over  $K_1$ , dus de mate waarin  $x$  gehumificeerd wordt, ontbreken gegevens, ook bij HÉNIN-DUPUIS. Geheel duidelijk is dit verband dan ook niet, en de lagere humusgehalten in warmere streken worden dan ook niet algemeen aanvaard.

Zo ontkent HARDON (7) de opvatting, dat in tropische gronden het humusgehalte laag moet blijven. Wel vermeldt hij, dat bij verwijdering van bosvegetatie en het in cultuur brengen van de gronden het humusgehalte zich instelt op een lager niveau en dit des te vlugger naarmate de temperatuur hoger is. En voorts, dat de humusvoorraad in bosgrond stijgt met de hoogte boven zee, eerst langzaam maar steeds sneller wordend. Hij is echter van mening, dat ondanks de sterkere afbraak bij hogere temperaturen, door een hogere aanvoer van organisch materiaal (HARDON spreekt hier van 'vorming van humus', daartoe moet echter het materiaal waaruit humus gevormd kan worden, aanwezig zijn. Dit begrip is dus identiek met aanvoer) ook in tropisch laagland humusgehalten kunnen ontstaan welke niet laag genoemd kunnen worden (2-3% in cultuurgronden en 5% in bosgronden).

Omgezet in de formulering van HÉNIN-DUPUIS betekent dit, dat als in  $y_E = K_1x/K_2$  de  $x$  maar groot genoeg is, een grotere  $K_2$  kan worden gecompenseerd. Over  $K_1$  wordt weer niet gerept.

Behalve de invloed van de temperatuur op de humusafbraak (bij gelijkblijvende overige omstandigheden) wordt ook een invloed op het humusniveau toegeschreven aan een andere klimaatsfactor, n.l. de vochtigheid. Deze wordt op verschillende wijzen tot uitdrukking gebracht, n.l. als neerslag, neerslag gedeeld door temperatuur, neerslag gedeeld door evaporatie, neerslag gedeeld door verzadigingsdeficit van de lucht. Zoals JENNY (12) aangeeft hangen de 3 genoemde quotiënten lineair samen. Bij constante quotiënten vond JENNY in de zuidelijke staten van de V.S., met hogere jaartemperaturen (19°C),  $N$ -gehalten in de grond welke ongeveer de helft bedragen van die in noordelijker gelegen staten met gem. 11°C. Daar de  $C/N$ -quotiënten praktisch gelijk zijn geldt hetzelfde voor de  $C$ - en de humusgehalten. Dit is hetzelfde verschijnsel als boven werd beschreven, waar als de meest waarschijnlijke verklaring de sterkere humusafbraak bij hogere temperatuur werd aangegeven.

Bij gelijke temperatuur – in beide gevallen, echter bij 11°C veel sterker dan bij 19° – stijgt het  $N$ -gehalte bij stijgende waarden der quotiënten. Echter geven in dit geval de

quotiënten niets anders weer dan de regenval. De uitkomst is dus, dat bij gelijke temperatuur het humusgehalte stijgt met de neerslag. Daar bij 11° het neerslagtraject liep van 300 tot 1250 mm en bij 19° van 500–1500 mag men aannemen, dat in beide gebieden de vegetatie (prairie en bos) in omvang toenam en daarmee de aanvoer van organische stof in de vorm van wortels en afgevalen bovengrondse delen. Hier is dus sprake van een toename van de  $x$  in de formulering van HÉNIN-DUPUIS. Het moet evenwel niet worden uitgesloten, dat de vochtigheidstoestand daarnaast ook nog invloed kan hebben op de humificatie en de humusafbraak.

Dat hier overwegend sprake is van een verschil in  $x$  blijkt ook uit het verschil in  $N$ - (en  $C$ - en humus-) gehalte tussen prairie- en bosgronden bij JENNY bij dezelfde temperatuur en dezelfde waarde voor de vochtquotiënten. De bossen produceren aan wortelgewicht volgens WELTE (34) 1,5 ton per ha per jaar. Deze vergaan slechts gedeeltelijk. Daarbij komt het strooisel, volgens opgave van JENNY bovenvermeld 1–3 ton, waarvan de eruit gevormde ruwe humus ook slechts gedeeltelijk – door wormen en andere dieren – in de grond geraakt. Het totaal zal dus, ruim gerekend, per jaar per ha 2 ton bedragen. In de prairiegrond is dit ongeveer het dubbele. En dit is ook het geval met de gehalten aan  $N$  enz.

Als  $x$  in de formule  $y_E = (K_1/K_2) x$  in afhankelijkheid van de vochtfactoren een zo overwegende rol speelt, dat de  $y_E$  nauw met de  $x$  samenhangt, moeten  $K_1$  en  $K_2$  of althans hun quotiënt in sterke mate van die factoren onafhankelijk zijn.

Voor zover uit het schaarse materiaal af te leiden valt komt men tot de conclusie, dat naar alle waarschijnlijkheid de humusafbraak versneld wordt bij hogere temperatuur en dat vochtfactoren in het algemeen hun invloed in hoofdzaak doen gelden via beïnvloeding van de vegetatie op de aanvoer van organisch materiaal. Over de invloed van klimaatsfactoren op de humificatie is nog weinig bekend.

Daar Nederland een klein gebied beslaat, met niet sterk uiteenlopende temperatuur en regenval zijn de voorgaande beschouwingen betreffende de invloed van klimaatsfactoren op de humusvorming en humusafbraak voor Nederland van weinig belang. Zij worden slechts van betekenis door aan te geven, waarop men vanaf de aanvang bedacht heeft te zijn, bij toepassing van de ontwikkelde theorie of bij overdraging van de uitkomsten daarvan, zodra men te maken krijgt met gebieden met van die in Nederland belangrijk afwijkende klimatologische omstandigheden.

Ter kenschetsing van de situatie in Nederland wordt tot slot nog een opgave vermeld van de gemiddelde humusgehalten van verschillende grondsoorten in Nederland. Deze opgave werd eind 1958 verstrekt door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek.<sup>1</sup>

De gemiddelden zijn om de bijzondere ontstaanswijze genomen exclusief de dal- en veengronden. Dan geldt voor gronden, die niet van organische oorsprong zijn, dat

<sup>1</sup> Bij beoordeling van de tabel zij men er op verdacht, dat er 2 methoden van humusbepaling worden toegepast nl. die van het gloeiverlies en die van oxydatie met kaliumpermanganaat. De laatste, welke lagere uitkomsten geeft, komt vooral veel voor bij de löss en de kleigronden met bouwland.

	<i>Bouwland</i>		<i>Grasland</i>	
	<i>Aantal ha</i>	<i>Humus</i>	<i>Aantal ha</i>	<i>Humus</i>
1. Löss	19000	2,5	19000	7,0
2. Alluviaal zand	4000	2,0	7000	10,0
3. Jonge zeeklei	300000	3,0	322000	9,0
4. Diluviaal zand	382000	5,0	521000	8,0
5. Rivierklei	74000	3,0	168000	11,0
6. Oude zeeklei	44000	6,0	41000	19,0
7. Dalgrond	74000	13,0	17000	17,0
8. Veengrond			180000	30,0
Gemiddeld per grondsoort 1 t/m 6		3,6		10,1
Gemiddeld per ha voor 1 t/m 6		4,1		9,2

op bouwland het humusgehalte gemiddeld 3,5 à 4% bedraagt en het op grasland omstreeks tweemaal zo hoog is. Daar de dikte van de zodelaag incl. enige humusophoping daaronder ongeveer de helft bedraagt van de bouwvoor bij de akkerbouw, is de humusvoorraad bij beide gelijk en wel omstreeks 80 ton per ha.

De kleigronden komen gemiddeld hoger, zand en löss lager.

JENNY (13) komt in zijn uitgebreide formule, die het verband tussen stikstofgehalte enerzijds en temperatuur en vocht anderzijds weergeeft<sup>1</sup> tot

$$N = 0,55 e^{-0,08T}(1 - e^{-0,008V}),$$

Hierin is de temperatuur  $T$  uitgedrukt in graden Celcius.  $V$  is het quotiënt van de neerslag in mm en het absolute verzadigingsdeficit in mm kwik. Deze grootheid is ruwweg  $4 \times$  het (gemakkelijker hanteerbare) quotiënt van de neerslag en de temperatuur in  $^{\circ}\text{C}$ . Voorts is het humusgehalte (globaal)  $= 1,7 \times$  het koolstofgehalte  $=$  (globaal)  $1,7 \times 10,5 \times$  het stikstofgehalte.

Voor het humusgehalte wordt de formule dan:

$$H = 10e^{-0,08T}(1 - e^{-0,02R/T}).$$

De regenval  $R$  is in Nederland gemiddeld over 50 jaren 722 mm en de temperatuur  $9,2^{\circ}\text{C}$ . Hieruit volgt  $H = 3,8$ . Dus de formule van Jenny geeft voor Nederland een waarde, die goed met de werkelijkheid overeenstemt<sup>2</sup>.

Uitwerking van de formule van HÉNIN-DUPUIS en invulling van empirisch gevonden waarden voor de parameters leert, dat de humusvoorraad gelijk is aan  $20 \times$  de jaarlijkse aanvoer van organische stof. Nu werd in (15) berekend, dat de jaarlijkse aanvoer aan organische stof in Nederland 2,4 mil. ton bedraagt of 1 ton per ha cultuurgrond. In de akkerbouw is dit, tezamen met 3 ton (variërende van 2 tot 5 ton) in wortels en

<sup>1</sup> De ingevulde waarden der parameters zijn, zoals JENNY zelf vermeldt empirisch gevonden voor grasland op 'loamy soils', bij temperaturen tussen 0 en  $22^{\circ}$  en bij  $V$  tussen 0 en 400.

<sup>2</sup> Neemt men de temperatuur in het noorden van het land een halve graad onder, die in het zuiden een halve graad boven het landsgemiddelde bij gelijke  $V$ , dan geeft de formule van JENNY voor het noorden een gemiddeld humusgehalte van 4,1 en voor het zuiden 3,6.



stoppels 4 ton. De voorraad moet dus gemiddeld 80 ton zijn, of bij een bouwvoorgewicht van 2 mil. kg wordt het humusgehalte gemiddeld 4%.

Op drie manieren komt men dus tot een landsgemiddelde van 3,5 à 4% .Het te beschrijven onderzoek is erop gericht de hierop voorkomende variaties kwantitatief te beschrijven.

### 3 ONTWIKKELING VAN DE THEORIE

In 1911 werd op een perceel op het terrein van het tegenwoordige Instituut voor Bodemvruchtbaarheid zavelgrond aangebracht voor de aanleg van een proefveld (Pr. 1). Een gedeelte hiervan bestaat nog in gewijzigde vorm onder de naam van Pr. 1265.

Van Pr. 1 werd het grootste gedeelte gebruikt als proefveld; een gedeelte bleef echter onbebouwd en geheel onbegroeid. Van het proefveld (verder aangeduid als het bebouwde gedeelte of kortweg bebouwd) en van het onbebouwde gedeelte werden van tijd tot tijd humusgehalten bepaald, namelijk van 1911 tot 1941 (44). Daar in de jaren 1937, 1938 en 1939 op het *gehele* perceel, ook op het zogenaamde onbebouwde gedeelte, luzerne werd verbouwd, zal allereerst aandacht besteed worden aan de hieraan voorafgaande jaren.

Tot goed begrip van de te vermelden humusgehalten zij vermeld dat

- a. 'onbebouwd' nimmer enige bemesting ontving;
- b. 'bebouwd' slechts kunstmest, doch nimmer enige organische bemesting ontving behalve de wortel- en stoppelresten der verbouwde gewassen;
- c. de door MASCHHAUPT vermelde 'humusgehalten (Ist)' overeenkomstig de door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek in (47) gegeven tabel zijn omgerekend in 'humus elementair'.

Wij krijgen dan het volgend overzicht:

	1911	1916	1923	1928	1931	1932	1933
onbebouwd	1,99	1,72	1,58	1,44	1,41	1,37	1,30
bebouwd	1,85	1,97	1,90	1,85	1,92	1,87	1,86

Men krijgt de indruk, dat het humusgehalte van het object 'bebouwd' schommelt rond een constante waarde (het gemiddelde is 1,89), maar dat het gehalte in het object 'onbebouwd' daalt, en dat de daling niet rechtlijnig is, maar gedurig zwakker wordt. Daar dit ook het geval zou zijn, wanneer het humusgehalte een logaritmische functie zou zijn van de tijd, zijn de (Briggsche) logaritmen van de humusgehalten uitgezet tegen de tijd (figuur 1). Daar dan een rechtlijnig verband schijnt te ontstaan, behoort een logaritmische functie als weergave van de wetmatigheid volgens welke de afbraak van humus in de tijd verloopt tot de mogelijkheden, in elk geval wordt daarmee een adequate weergave van de gevonden feiten verkregen.

Bij afwezigheid van aanvoer van organisch materiaal wordt gaandeweg minder humus afgebroken, en met bebouwing blijft het humusgehalte constant (het beweegt zich althans op het oog om een constante waarde). Wordt hier door een constante

FIG. 1. Pr. 1265 Onbebouwd. Logarithmen van de humusgehalten

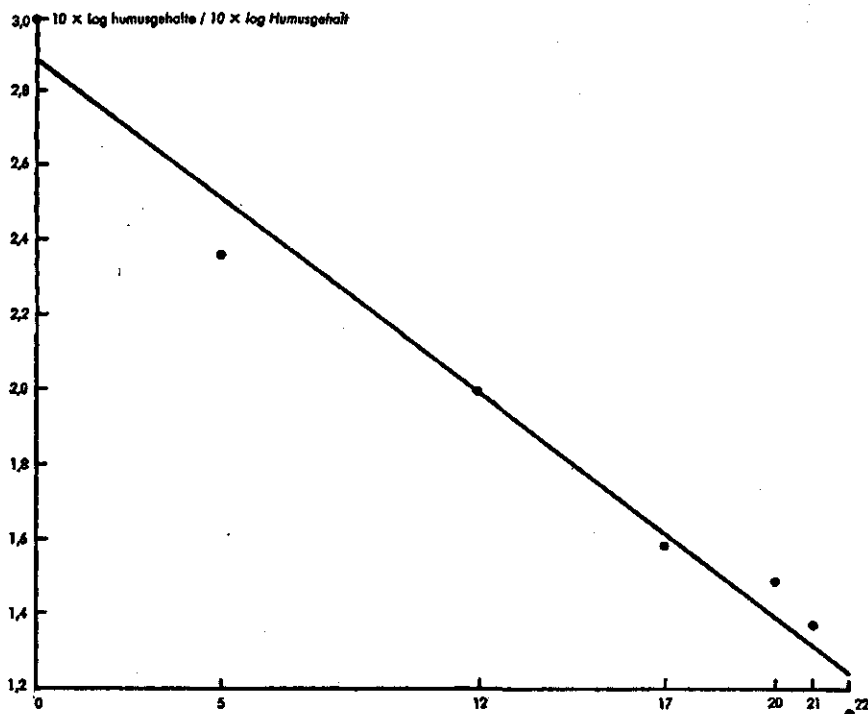


FIG. 1. Pr. 1265 Ohne Bebauung. Logarithmen der Humusgehalten

aanvoer bij voortduring een constante hoeveelheid humus afgebroken (de constante aanvoer van humus ontstaat door een – gemiddeld – gelijkblijvende hoeveelheid ingebrachte organische stof in de vorm van wortel- en stoppelmateriaal), in het object onbebouwd daarentegen is er een afbraak, welke afneemt, naarmate het humusgehalte afneemt. In beide gevallen is er dus verband tussen afbraak en het aanwezige humusgehalte.

Ten aanzien van afbraak en opbouw valt nog het volgende uit het beschreven materiaal af te leiden. De rechte lijn in figuur 1, welke op het oog zo goed mogelijk aan de punten aangepast is, beantwoordt aan de formule ( $y$  = humusgehalte):

$$y' = \log y = -0,00733t + 0,286$$

Uit  $t = 0$  en  $t = 1$  kunnen wij de humusafbraak bij beide objecten in het eerste jaar berekenen. Deze is groter dan in volgende jaren in het object 'onbebouwd', maar in het object bebouwd gelijkblijvend tijdens de gehele proefduur.

Bij  $t = 0$  is  $\log y_0 = 0,286$  en  $y_0 = 1,93$

Bij  $t = 1$  is  $\log y_1 = 0,279$  en  $y_1 = 1,90$

$$\text{Afbraak} = y_0 - y_1 = 0,03$$

Indien het bouwvoorgewicht van deze grond 3 miljoen kg per ha bedraagt, wordt in het eerste jaar 900 kg humus per ha afgebroken. In de volgende jaren wordt de afbraak steeds minder zonder bebouwing. De aanvoer van wortel- en stoppelresten in het object 'bebouwd' bij de gekozen vruchtwisseling is te stellen op 2500 kg. Daar er desondanks geen ophoping van humus is, maar een evenwicht, is het slechts een gedeelte van het aangevoerde materiaal (namelijk 36%), dat overgaat in humus om daarna de constante afbraak op te heffen. Deze 'nieuwe' humus ondergaat tezamen met de reeds aanwezige humus de afbraak op de beschreven manier en voorkomt daling van het humusgehalte.

Wij stellen dus:

- 1 dat van het aangevoerde organische materiaal een gedeelte overgaat in humus en
- 2 dat een gedeelte van de aanwezige humus - 'oude' zowel als 'nieuwe' - wordt afgebroken.

Wij nemen eenvoudigheidshalve aan, dat beide gedeelten konstant zijn behoudens mogelijke jaarschommelingen.

Aan de hand van deze beide stellingen en de genoemde aanname kan zoals blijken zal, het verloop van het humusgehalte in het algemeen geformuleerd worden.

### Formulering I

Van het organische materiaal dat aan een grond wordt toegevoegd, wordt in een jaar tijds een zeker gedeelte gehumificeerd. Dit gedeelte noemen wij  $K_1$ , waarbij  $K_1$  een breuk is tussen 0 en 1. Was de toevoer van droge organische stof, uitgedrukt in procenten van het bouwvoorgewicht van de grond  $x$ , dan is na een jaar de grond verrijkt met  $K_1x\%$  humus.  $K_1$  noemen wij de *humificatiecoëfficiënt*. Intussen werd van de in de grond reeds aanwezige humus een gedeelte afgebroken. Dit duiden wij aan met  $K_2$ , welk symbool eveneens een breuk tussen 0 en 1 voorstelt. Was het humusgehalte  $y$ , dan verarmt de grond in hetzelfde jaar met  $K_2y\%$  humus.  $K_2$  noemen wij de *afbraakcoëfficiënt*. Is nu  $K_1x = K_2y$ , dan is na een jaar het humusgehalte weer op hetzelfde peil teruggekomen, daar aanvoer en afbraak elkaar opheffen. Is  $K_1x > K_2y$ , dan zal het humusgehalte stijgen; is  $K_1x < K_2y$ , dan moet het dalen.

Stellen wij nu het geval van een grond, waarop eenzelfde bedrijfsvoering (wat betreft de voorziening met organische stof) jarenlang wordt voortgezet, zodat wij  $x$  - als benadering gemiddeld per jaar genomen, daar fluctuaties zich zeker zullen voordoen - konstant kunnen houden. Nemen wij voorts aan, dat  $K_1$  en  $K_2$  - afgezien van mogelijke jaarlijkse fluctuaties - eveneens constant zijn. Gaan wij dan uit van een uitgangshumusgehalte  $y_0$ , dan is hiervan na een jaar verdwenen  $K_2y_0$ , dus overgebleven  $y_0(1 - K_2)$ . Er is bij gekomen  $K_1x$ , zodat het nieuwe humusgehalte is geworden:

$$y_1 = K_1x + y_0(1 - K_2)$$

Hiervan is na nog een jaar over:

$$[K_1x + y_0(1 - K_2)](1 - K_2) = K_1x(1 - K_2) + y_0(1 - K_2)^2$$

Door de herhaalde verrijking met  $K_1x$  is het nieuwe humusgehalte na 2 jaar geworden:

$$y_2 = K_1x + K_1x(1 - K_2) + y_0(1 - K_2)^2$$

Op dezelfde wijze doorgaande, zal het humusgehalte na  $t$  jaren zijn:

$$y_t = K_1x + K_1x(1 - K_2) + K_1x(1 - K_2)^2 + \dots + K_1x(1 - K_2)^{t-1} + y_0(1 - K_2)^t$$

Dit geeft aan, dat op de humus  $y_0$  de afbraak  $t$  jaar heeft plaats gehad en op de humus  $K_1x$  van de volgende jaren gedurende perioden aflopende van  $t - 1$  tot 0 jaar.

De termen met  $K_1x$  vormen een meetkundige reeks, waarvan de som berekend kan worden. Dan ontstaat:

$$y_t = K_1x \frac{1 - (1 - K_2)^t}{1 - (1 - K_2)} + y_0(1 - K_2)^t = \frac{K_1x}{K_2} - \frac{K_1x}{K_2}(1 - K_2)^t + y_0(1 - K_2)^t$$

Is  $t$  oneindig groot, dan krijgen wij:

$$y_{t=\infty} = K_1x \frac{1 - (1 - K_2)^\infty}{1 - (1 - K_2)} + y_0(1 - K_2)^\infty = \frac{K_1x}{K_2}$$

daar  $(1 - K_2)^\infty$  nadert tot 0, omdat  $1 - K_2$  een breuk  $< 1$  is.

Hierbij is het humusgehalte konstant, daar de breuk  $K_1x/K_2$  uit louter constanten bestaat. Zodoende is dezelfde toestand verkregen als hierboven beschreven, waarbij gelijkheid in humusgehalten bestond bij  $K_1x = K_2y$ .

$y_{t=\infty} = K_1x/K_2$  is dus de evenwichtstoestand, waartoe het humusgehalte nadert als dezelfde voorziening met organisch materiaal zeer lang (theoretisch oneindig lang) wordt voortgezet. Dit gehalte duiden wij aan met  $y_m$ , waarbij de  $m$  staat voor maximum of minimum. Met behulp van dit symbool ontstaat

$$y = \frac{K_1x}{K_2} - \frac{K_1x}{K_2}(1 - K_2)^t + y_0(1 - K_2)^t = y_m + (y_0 - y_m)(1 - K_2)^t$$

Deze formule kan worden omgezet in:

$$\frac{y - y_m}{y_0 - y_m} = (1 - K_2)^t \text{ of } \log \frac{y - y_m}{y_0 - y_m} = t \log (1 - K_2)$$

Het verband tussen  $y$  en  $t$  is dus een logaritmische functie. Schrijft men deze in de volgende vorm:

$$\log (y - y_m) = t \log (1 - K_2) + \log (y_0 - y_m)$$

dan is het duidelijk, dat als tegen  $t$  de waarden voor  $\log (y - y_m)$  worden uitgezet een rechte lijn verkregen wordt als de gemaakte veronderstellingen alle juist zijn.

Zij  $\log (y - y_m) = y'$  en  $\log (y_0 - y_m) = y_0'$ , dan ontstaat dus een rechte lijn  $y' = mt + y_0'$ , waarin de richtingscoëfficiënt  $m = \log (1 - K_2)$  en  $y_0'$  aangeeft, waar de rechte lijn de ordinaat snijdt. Hiervan zal later gebruik gemaakt worden.

Een bijzonder geval doet zich voor, als  $x = 0$ , d.w.z. dat er geen aanvoer is van

organisch materiaal. Daar er dus ook geen wortel- en stoppelresten mogen zijn, kan dit geval slechts optreden als er geen begroeiing plaats heeft. De algemene formule wordt dan:

$$y = y_0 (1 - K_2)^t$$

Bij  $t = \infty$  ontstaat als evenwicht  $y_m = 0$ . De rechte lijn wordt weergegeven door  $\log y = t \log (1 - K_2) + \log y_0$ . Hiermede is dus wederom een formulering gevonden voor de rechte lijn in figuur 1.

### Formulering II

Er is nog een andere benaderingswijze mogelijk, welke in hoofdzaak gevolgd wordt door HÉNIN en DUPUIS<sup>(8)</sup>. Deze zal thans uiteengezet worden.

Wij voerden in onder de aanduiding  $K_1$  de 'humificatiecoëfficiënt' waarmee wordt aangegeven dat gedeelte van de aangevoerde organische stof, dat overgaat in enigszins stabiele humus en daardoor na een jaar nog achterblijft. Het overige wordt min of meer ver gehumificeerd, echter hoogstens tot metastabiele humus, die een kortstondig bestaan heeft van hoogstens een jaar. Verder werd ingevoerd  $K_2$ , de 'afbraakcoëfficiënt', aangevende het gedeelte van de humus in de grond dat jaarlijks wordt afgebroken. Beide,  $K_1$  en  $K_2$ , liggen uiteraard tussen 0 en 1.

Zij wederom  $y$  het humusgehalte van de grond en  $t$  de tijd, dan zijn  $dy$  en  $dt$  aangroeiingen hiervan. Zij het gehalte van de grond aan toegevoerde droge organische stof gemiddeld per jaar  $x$ ; de hoeveelheid, die hiervan overgaat in humus, bedraagt dan  $K_1 x dt$ ; de hoeveelheid humus waaraan de grond verarmt is:  $K_2 y dt$ . De beide coëfficiënten zijn dus weer constant gedacht, d.w.z. onafhankelijk van de grootte van  $x$  respectievelijk  $y$ .

Uit beide formules volgt voor de toename van  $y$  in de tijd  $dt$ :

$$dy = (K_1 x - K_2 y) dt \text{ of } \frac{dy}{K_1 x - K_2 y} = dt, \text{ dus } \int \frac{dy}{K_1 x - K_2 y} = \int dt$$

Oplossing van de integralen geeft:

$$\frac{-1}{K_2} \ln (K_1 x - K_2 y) = t + C$$

De integratieconstante  $C$  is te bepalen door  $t = 0$  te nemen; dan krijgt  $y$  de waarde, die zij in de uitgangstoestand had en die wij  $y_0$  noemen. Wij vinden dus:

$$C = \frac{-1}{K_2} \ln (K_1 x - K_2 y_0)$$

en daardoor:

$$\frac{1}{K_2} \ln (K_1 x - K_2 y_0) - \frac{1}{K_2} \ln (K_1 x - K_2 y) = t,$$

of

$$\ln \frac{K_1 x - K_2 y_0}{K_1 x - K_2 y} = K_2 t \quad [I]$$

Een speciaal geval van (I), welke is te vervormen tot:

$$y = \frac{K_1 x}{K_2} - \frac{K_1 x - K_2 y_0}{K_2 e^{K_2 t}}$$

krijgt men, als  $t$  zeer groot wordt, in de limiettoestand oneindig groot. Dan wordt dus in het tweede lid de laatste term gelijk aan 0. De formule wordt dan:

$$y_m = \frac{K_1}{K_2} x \quad \text{[II]}$$

Dit is dezelfde formule als in Formulering I werd gevonden.

Een tweede speciaal geval van [I] heeft men, als de toevoer  $x = 0$ . Formule [I] gaat dan over in:

$$K_2 t = \ln \frac{y_0}{y} \quad \text{[III]}$$

In gewone logaritmen wordt formule [I]:

$$\log \frac{K_1 x - K_2 y_0}{K_1 x - K_2 y} = 0,4343 K_2 t \quad \text{[Ia]}$$

en formule [III]

$$\log \frac{y_0}{y} = 0,4343 K_2 t \quad \text{[IIIa]}$$

De formule [I] wordt doorzichtiger als zij op grond van formule [II] geschreven wordt in de volgende vorm:

$$\log \frac{\frac{K_1}{K_2} x - y_0}{\frac{K_1}{K_2} x - y} = \log \frac{y_m - y_0}{y_m - y} = 0,4343 K_2 t$$

*Vergelijking der beide formuleringen onderling en met andere groeiwetten*

Er werden met beide methoden verschillende formule's gevonden. De algemene formules zijn namelijk:

Formulering I:  $\frac{y - y_m}{y_0 - y_m} = (1 - K_2)^t$

Formulering II:  $\frac{y - y_m}{y_0 - y_m} = e^{-K_2 t}$

Het verschil zit in het feit, dat bij de eerste methode gewerkt wordt met intervallen van een jaar, en bij de tweede met oneindig kleine aangroeiingen in de tijd. De sommatie daarvan is niet gelijk.

De eerste methode lijkt beter dan de tweede, daar de voorziening met organisch materiaal meestal eenmaal en hoogstens enkele malen per jaar plaats vindt en niet het gehele jaar door, de aanvoer van wortelresten niet gelijkelijk over het gehele jaar verdeeld is, en evenzo de afbraak niet gedurende het gehele jaar in hetzelfde tempo

plaats vindt. Zelfs komt men op grond van mededelingen van SAUERLANDT en GROETZNER (31) tot de conclusie, dat de humificatie in hoofdzaak in herfst en winter optreedt, althans gedurende die periode de afbraak overtreft, waartegenover in het zomerhalfjaar de afbraak groter is dan de humificatie. Dit laatste is echter enkel het gevolg van het eenvoudige feit, dat er na de humificatie gedurende herfst en winter voorlopig weinig meer te humificeren valt. De geconstateerde afwisseling van perioden met overheersende humificatie en perioden van overheersende afbraak zijn dus gebonden aan de periodiciteit in de aanvoer van organisch materiaal. Daar deze nu eenmaal niet weg te denken valt verdienen intervallen van een jaar de voorkeur. Toch is het verschil in uitkomst gering. Voor gelijkheid zouden wij moeten hebben:

$$e^{-K_2 t} = (1 - K_2)^t \text{ of } e^{K_2} = \frac{1}{1 - K_2}$$

Nu is  $e^{K_2}$  te ontwikkelen in de machtreeks

$$e^{K_2} = 1 + K_2 + \frac{K_2^2}{2!} + \frac{K_2^3}{3!} + \dots$$

en het quotiënt, uitgewerkt, geeft:

$$\frac{1}{1 - K_2} = 1 + K_2 + K_2^2 + K_2^3 + \dots$$

Het verschil is dus:

$$\frac{1}{1 - K_2} - e^{K_2} = \frac{1}{2} K_2^2 + \frac{5}{6} K_2^3 + \frac{23}{24} K_2^4 + \dots + \frac{n! - 1}{n!} K_2^n$$

Daar, zoals wij later zullen zien,  $K_2$  klein is, zijn de hogere machten al spoedig te verwaarlozen.

In het gebied, dat later zal blijken voor  $K_2$  normaal te zijn, maakt het hoegenaamd geen verschil, welke methode men gebruikt, daar de ongelijkheid slechts enkele eenheden van een decimaal, welke in het humusgehalte toch niet bepaald kan worden, betreft. Bij de grote onnauwkeurigheid, waarmede humusbepalingen steeds behept zijn, speelt dit geen rol.

In een concreet geval, met  $y_0 = 3$  en  $y_m = 5$  geven de beide formuleringen bij  $t = 20$  de volgende waarden voor  $y$ :

$K_2$	Formulering I	Formulering II	Vershil
0,01	3,364	3,362	0,002
0,02	3,665	3,659	0,006
0,03	3,912	3,902	0,010
0,04	4,116	4,102	0,014

Formulering II geeft dus een zeer goede benadering van formulering I, daar het verschil slechts enkele honderdsten bedraagt. Naarmate  $t$  groter is, zal het verschil kleiner worden. Het is dus toelaatbaar beide formuleringen te hanteren.

De uiteindelijke formules volgens de beide wijzen van formuleren

$$\frac{y - y_m}{y_0 - y_m} = (1 - K_2)^t \approx e^{-K_2 t}$$

geven aan, dat kenmerkend voor het verloop van het humusgehalte bij een constante aanvoer van organisch materiaal is: het verschil tussen het humusgehalte op een bepaald moment en dat in de uiteindelijke evenwichtstoestand.

Deze gedachte van het bepalend zijn van een zekere uiteindelijke waarde van een grootte voor de groei van die grootte treft men herhaaldelijk aan in groei-formuleringen. Bij groei uitsluitend in positieve zin spreekt men dan van het deficit (groei- en oogstdeficit) als bepalend element voor de groei. Bij de humusformule kan het deficit,  $y_m - y$ , zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van het feit of het humusgehalte zich in stijgende of in dalende richting beweegt.

Daar verschillende dezer formuleringen hun parallel hebben in de scheikunde<sup>1</sup> heeft men wel gedacht aan een scheikundige verklaring van de groei door te denken aan scheikundige reacties (met ketteringreacties) uitgaande van een zekere initiële hoeveelheid van een bepaalde stof, welke hoeveelheid bepalend zou zijn voor de, via de genoemde reacties, uiteindelijk te bereiken maximale groei.

Bij een negatieve groei, als waarmede wij hier te maken kunnen hebben, is deze verklaring minder doorzichtig. Er bestaat echter ook geen behoefte aan door de geschetste wijze van ontwikkeling der formules, waarbij het verloop van het humusgehalte op elk moment en het evenwichtsgehalte afhangen van het verschil tussen  $K_1 x$  en  $K_2 y$ .

Een bekende groei-formulering is de z.g. Robertsonse groeiwet (51)

$$\frac{dy}{dx} = k y (A - y)$$

Deze formule, welke in de scheikunde geldt voor de mono-moleculaire autokatalytische reactie geeft aan, dat de groei evenredig is aan de bereikte grootte en aan wat er aan het maximum ontbreekt (ook voor de laatste factor heeft men - o.a. DUYFF en BRUINS (48) - gedacht aan scheikundige reacties van groeiremmende stoffen). Hierbij ontstaat de s-vormige groeikromme. Deze wordt vaak toegepast voor oogstformuleringen, o.a. door VAN GINNEKEN (40).

Ontbreekt de eerste factor, dan ontstaat  $dy/dx = k (A - y)$ . Dit is de werkingswet van MITSCHERLICH (45) en geeft in de scheikunde het verloop bij de mono-moleculaire reactie weer. Deze formule geeft aan, dat de groei bij voortduring langzamer gaat verlopen en asymptotisch tot een plafond nadert.

Aan deze zelfde groeiwet voldoet ook de humusformule, want deze gaat uit van

$$\frac{dy}{dt} = K_1 x - K_2 y = K_2 \left( \frac{K_1}{K_2} x - y \right) = K_2 (y_m - y).$$

De formule verkregen met behulp van de som van een meetkundige reeks is hiervan een benadering.

<sup>1</sup> Hiervoor zijn zij in grote uitvoerigheid behandeld in (50).



#### 4 VEREFFENING EN FOUTENBEREKENING

Beziet men de in een object in een reeks van jaren verkregen humusgehalten, dan blijken deze in het algemeen aan sterke schommelingen onderhevig te zijn.

De fouten, waarmede de humusbepaling behept is, zijn velerlei. Allereerst zijn er de bemonsterings- en analysefout, welke aan elke bemonstering en analyse inhaerent zijn. Dan is een foutenbron gelegen in het feit, dat het humusgehalte laagsgewijs verloopt; daardoor valt in een jaar, waarin een krachtige persoon, die wat dieper boort, bemonsterd heeft, het humusgehalte anders (meestal lager) uit, dan in een ander jaar, waarin minder diep bemonsterd is. Daarnaast bestaat de mogelijkheid, dat ook het laboratorium niet vrij is van van tijd tot tijd optredende niveauverschillen (b.v. door overgang op andere materialen, temperatuurverschillen enz.).

Waren dit alle nog foutenbronnen, welke geacht kunnen worden slechts toevallige afwijkingen te zijn, welke door een voldoende groot aantal bepalingen goed te maken zijn, er zijn daarnaast ook systematische foutenbronnen, gelegen in het bestaan hebben (of gedeeltelijk nog bestaan) van verschillende humusbepalingen, waarvan de uitkomsten soms door middel van een empirisch gevonden tabel (dus uit stochastisch materiaal en nogal sterk generaliserend) in elkaar worden omgezet. De voornaamste in ons land in gebruik zijnde methoden zijn die van het gloeiverlies, humus elementair en Itscherekow. In lange series uitkomsten is de methode niet steeds dezelfde gebleven. Daar dit systematische verschillen meebrengt, blijft het steeds een moeilijkheid.

Ook zonder deze systematische verschillen is het reeds moeilijk een materiaal, dat in het algemeen met grote toevalligheden behept is, te bewerken.

In de differentiaalvergelijking  $dy/dt = K_2(y_m - y)$ , is  $y_m$  het essentiële element, zodat begonnen wordt met hiernaar te zoeken.

Daar de humusformule in wezen (mathematisch) identiek is met de formule van MITSCHERLICH kan men te rade gaan bij MITSCHERLICH. Deze geeft aan (45), dat indien  $A$ , de maximale opbrengst (hier  $y_m$ ), niet experimenteel direct gevonden wordt, men 3 waarnemingen kiest zo, dat  $t_2 - t_1 = t_3 - t_1$ .

Men heeft dan

$$y_m = \frac{y_2^2 - y_1 \cdot y_3}{2y_2 - (y_1 + y_3)}$$

Of als men 4 waarnemingen heeft, die voldoen aan  $t_1 + t_3 = t_2 + t_4$  heeft men - met de naar RAUTERBERG (46) genoemde formule -

$$y_m = \frac{y_1 \cdot y_3 - y_2 \cdot y_4}{(y_1 + y_3) - (y_2 + y_4)}$$

Beide formuleringen hebben verscheidene bezwaren.

- 1 daar  $t$  voorstelt het aantal jaren verlopen sedert het inzetten van de proef of na invoering van een beleid inzake voorziening met organische stof tot aan de jaren

waarin de humusbepalingen verricht zijn, zijn deze tijdperken niet steeds zo gekozen, dat zij aan een der genoemde voorwaarden voldoen.

- 2 is dit wel het geval, maar heeft men er meer, dan moet men of informatie verwaarlozen, of als er meer groepen zijn die aan de gestelde voorwaarden voldoen vindt men ongelijke uitkomsten door de bij elke groep optredende toevalsafwijkingen.
- 3 daar elk der bepalingen met een fout belast is hopen deze fouten zich in  $y_m$  op.

De onder 2 en 3 genoemde bezwaren hebben schrijver er in 1930 toe gebracht (42), vanwege de vaak absurde uitkomsten welke verkregen werden, deze aan de formulering zelf toe te schrijven. Deze onbillijkheid was het gevolg van het niet onderkennen van de aard der genoemde bezwaren, welke wel de methode, maar niet de formulering zelve raken. Zij maken evenwel de methode, zeker als het om humusbepalingen gaat, onbruikbaar.

Een andere door MITSCHERLICH aangegeven methode is eerst grafisch ruwweg  $y_m$  te bepalen door extrapolatie, en dan voor elke waarneming te berekenen:

$$0,4343 K_2 = \frac{\log (y_m - y_0) - \log (y_m - y)}{t}$$

Lopen deze waarden niet horizontaal, dan is  $y_m$  verkeerd gekozen en moet het met een andere  $y_m$  geprobeerd worden.

De beslissing of deze punten horizontaal verlopen, is bij humusbepalingen door de grote toevalsschommelingen, eveneens als regel zeer moeilijk, daar men meestal ook niet over zeer talrijke waarnemingen over een voldoende lange periode beschikt.

Hetzelfde geldt voor de door LE HEUX (49) en door VAN UVEN (52) beschreven methode. Deze zoeken grafisch uit bij welke waarde van  $y_m$  de logaritmen van  $(y_m - y)$  een - hellende - rechte lijn voorstellen. Ook dit is vaak zeer moeilijk uit te maken.

Om deze moeilijkheid te ondervangen wordt het langs grafische weg zoeken vervangen door een numerieke methode. Deze begint met het materiaal te 'stroomlijnen', d.w.z. dat het, zonder de erin verborgen 'beste' waarde voor de parameters te wijzigen, wordt omgezet in een glad verlopend materiaal ontdaan van sprongen in de humusgehalten. Hiertoe moeten alle gevonden gehalten gelijkelijk meespreken en mag geen enkel gehalte worden weggelaten op grond van het feit, dat het te hoog of te laag lijkt ten opzichte van de andere; het is tevoren nooit uit te maken, wat te hoog of te laag is, tenzij bij zeer exceptionele afwijkingen.

De bewerking komt neer op vereffening op een rechte lijn. Als  $\log (y - y_m) = mt + q$  een rechte lijn voorstelt bij de juiste keuze van  $y_m$ , terwijl de juiste  $y_m$  niet bekend is, kan deze vereffening toch tot stand worden gebracht tot in een gelijk aantal decimalen als of één meer dan bij de humusgehalten gegeven is. Dit is meestal 1, of als gemiddelde van een aantal herhalingen soms 2. De juiste  $y_m$  en een iets hogere bij stijgend humusgehalte, evenals de juiste  $y_m$  en een iets lagere bij dalend humusgehalte, geven tot in 1 of 2 decimalen, *dezelfde* vereffende waarden. De verschillen, welke er desondanks

wel zijn, zitten, en dit ligt in de aard der logarithmen, in de niet gebruikte verdere decimalen.

Men zoekt dus naar enkele waarden van  $y_m$ , welke dezelfde vereffening geven, in het midden latende welke de juiste  $y_m$  is, en werkt dan verder met het aldus gevonden vereffende materiaal.

De toegepaste methode is de numerieke lineaire vereffening bij foutloze onafhankelijke variabele, beschreven door VAN UVEN (52) pag. 90 methode I. De vereffende waarden volgen, met behulp van de berekende  $m$  en  $\bar{q}$ , uit  $y'_{ver} = \log(y_{ver} - y_m) = \bar{m}t + \bar{q}$ . Dit voert men uit met een aantal, met b.v. 0,25 of 0,5 opklimmende c.q. afdalende  $y_m$ 's, tot men er 2 heeft, welke tot in 1 of 2 decimalen bij elke  $t$  dezelfde  $y_{ver}$  opleveren.

Men heeft nu bereikt, dat de parameters beter te localiseren zijn doordat de storende rol van de waarnemingsfouten opgeheven is. Wel komen deze onverminderd tot uiting in de uitkomsten der parameters.

Om de beste waarden te localiseren, begint men vanzelfsprekend met  $y_m$ . De zojuist besproken vereffende waarden (verkregen met één der  $y_m$ 's welke tot dezelfde uitkomst voerden, of een andere daar tussen) worden aangevuld met die voor de tijden  $t$ , welke tezamen met de reeds aanwezige  $t$ 's een rekenkundige reeks vormen.

Dit wordt gedaan, omdat de functie  $y' = \log(y - y_m) = mt + q$  bij de juiste  $y_m$ , doch ook slechts dan, een rechte lijn voorstelt; de functie vormt dan, inclusief de tevoren weggelaten verdere decimalen een rekenkundige reeks bij gelijke intervallen van  $t$ . Er kan nu van de eigenschappen van deze reeks gebruik gemaakt worden, om  $y_m$  te localiseren.

Noemen wij dit interval  $a$  (waarbij  $a$  kan zijn 1 jaar, maar evengoed 2, 3 jaar enz.), dan gaat de functie  $y' = mt + q$  over in  $y' = mna + q$ . Bij  $n = 1, 2, 3$ , enz. (dus  $t = 1, 2, 3$ , enz. of 2, 4, 6, enz. of 3, 6, 9, enz.) ontstaat achtereenvolgens:

$$\begin{aligned}y_1' &= ma + q \\y_2' &= 2ma + q \\y_3' &= 3ma + q \\y_n' &= nma + q\end{aligned}$$

Deze getallen als rekenkundige reeks behandelend (wat bij de juiste  $y_m$  ook klopt) vormen wij de som dezer getallen, voor 3 gelijke groepen n.l. lopende van  $ma + q$  tot  $nma + q$ , van  $(n + 1)ma + q$  tot  $2nma + q$  en van  $(2n + 1)ma + q$  tot  $3nma + q$ . Hierin moet  $n$  groot genoeg zijn, om in de som van  $n$  getallen de nog aanwezige schommelingen (welke bij 'gestroomlijnd' materiaal in hoofdzaak te danken zijn aan afrondingsverschillen) elkaar te doen opheffen. Hiervoor is een aantal van 6 tot 8 per groep in de praktijk gebleken voldoende te zijn. Heeft men niet 18 of 24 punten met gelijke tijdsintervallen, dan maakt men deze door interpolatie in het gestroomlijnde materiaal.

De sommen van deze groepen, welke elk een rekenkundige reeks vormen, bedragen

$$I \quad \frac{1}{2} n (ma + q + nma + q) = \frac{n(n + 1) ma}{2} + qn$$

$$\text{II} \quad \frac{1}{2} n \{(n+1)ma + q + 2nma + q\} = \frac{n(3n+1)ma}{2} + qn$$

$$\text{III} \quad \frac{1}{2} n \{(2n+1)ma + q + 3nma + q\} = \frac{n(5n+1)ma}{2} + qn$$

Hierbij is  $\text{II} - \text{I} = \text{III} - \text{II} = n^2ma$ .

Is  $y_m$  niet goed gekozen, dan vormen de getallen geen rekenkundige reeks, maar stellen zij een gebogen lijn voor, concaaf naar beneden als  $y_m$  te dichtbij, concaaf naar boven als  $y_m$  te ver van het waarnemingsmateriaal is gekozen.

Op deze wijze is zeer scherp de  $y_m$ , welke het beste bij het gegeven waarnemingsmateriaal past, te bepalen. De bewerking kan tabellarisch worden opgezet. Is men, na enig proberen tot gelijkheid gekomen dan volgt  $m$  uit het quotiënt van de gelijke verschillen en  $n^2a$ . Uit deze  $m$  vindt men dan weer  $K_2$  met behulp van de functie  $m = -0,4343 K_2$  of  $m = \log(1 - K_2)$ . Echter is  $m$  (en dus  $K_2$ ) eveneens te bepalen, door de vereffening nogmaals uit te voeren met de gevonden  $y_m$ , waardoor tegelijkertijd de hierbij behorende  $m$  en  $y_0$  gevonden worden.

Men kan nog de door VAN UVEN (52) op pag. 135 beschreven iteratieve vereffeningmethode toepassen. Dit is de methode van de vereffening van indirecte waarnemingen van 2 of meer variabelen toepasbaar gemaakt voor het geval, dat de indirecte waarnemingen niet-lineaire functies zijn van de variabelen. Als voorbeeld van de toepassing van de methode wordt door VAN UVEN uitgewerkt het berekenen van de constanten in de vergelijking behorende bij de werkingswet van MITSCHERLICH.

De vergelijking is  $y = y_m - (y_m - y_0) 10^{-0,4343 K_2 t}$ . De constanten zijn  $y_m$ ,  $y_0$  en  $-0,4343 K_2$ . De hiervoor aan te nemen schattingswaarden zijn de waarden verkregen volgens de hiervoor beschreven methode.

Daar deze methode als regel geen verbetering geeft, wordt hij vanwege het omslachtige rekenwerk, achterwege gelaten.

Houdt men niet de gevonden beste waarden van  $y_m$  en  $K_2$  aan, maar kiest men daarvoor andere die beter geacht worden (wat meermalen het geval is als verbetering mogelijk is doordat in een proef over meer objecten beschikt wordt) dan moet  $y_0$  daaraan worden aangepast.

Deze laatste bewerking berust op de algemene formule

$$\log \frac{y_0 - y_m}{y - y_m} = 0,4343 K_2 t,$$

omgezet tot  $y_0 = y_m + (y - y_m) 10^{0,4343 K_2 t}$  welke voor de gemiddelde waarde van de gevonden  $y$ 's (en die van de daarbij behorende  $t$ 's) luidt:

$$\bar{y}_0 = y_m + (\bar{y} - y_m) 10^{0,4343 K_2 \bar{t}}$$

Hiermede is de bewerking beëindigd. Als regel wordt dan met de gevonden parameters uitgerekend hoe de waarnemingen hadden moeten zijn, de afwijkingen tussen de gevonden en de overeenkomstige vereffende waarden alsmede een prognose van het verdere verloop van de humusgehalten. De praktische uitvoering zal worden ge-

demonstreerd aan de hand van een voorbeeld, waarbij de uitkomst bekend is. Daarin ligt een toetsing van de scherpte van de methode besloten.

Er wordt dus eerst een theoretisch zuiver model opgesteld, waarop variaties zoals deze in de praktijk voorkomen, worden aangebracht.

Daartoe worden in de formule  $\log(y - y_m) = -0,4343 K_1 t + \log(y_0 - y_m)$  aangenomen de waarden  $y_0 = 3$ ,  $y_m = 5$ ,  $K_1 = 0,4$ ,  $K_2 = 0,02$ ,  $x = 0,25$  en de tijden  $t = 0, 2, 6, 8, 12, 14, 18$  en  $20$ . Dan ontstaat:

$t$	0	2	6	8	12	14	18	20
$y$ in twee decimalen	3,00	3,08	3,23	3,30	3,43	3,49	3,60	3,66
Afgerond tot één decimaal	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
Aangebrachte fouten	0	-0,1	+0,3	-0,2	-0,2	+0,3	-0,1	0
Te bewerken materiaal	3,0	3,0	3,5	3,1	3,2	3,8	3,5	3,7

De tijden en de fouten zijn symmetrisch gemaakt, en de som der fouten (tot één decimaal afgerond) is 0. Er ontstaat dan een reeks, zoals die, waarmee men in de praktijk steeds geconfronteerd wordt, alleen variëren dan tijden en fouten nog grilliger, en zijn de fouten vaak nog groter.

Met dit materiaal wordt nu allereerst gezocht naar enige  $y_m$ 's welke tot dezelfde vereffende waarden voeren, daar deze  $y_m$ 's dan in de buurt van de beste  $y_m$  of iets hoger zullen liggen. Daar het ondanks de fouten duidelijk een stijgende reeks is, en de stijging in 20 jaar ruim een halve eenheid is, mag worden aangenomen, dat de stijging nog wel enkele eenheden zal bedragen en wordt dus in eerste instantie genomen  $y_m = 5,5$  en  $y_m = 6$ .

De rechtlijnige vereffening verloopt nu bij  $y_m = 6$  aldus:

$t$	$u = t - \bar{t}$	$u^2$	$y$	$a = y_m - y$	$b = \log a$	$v = b - \bar{b}$	$uv$
0	-10	100	3,0	3,0	0,47712	+0,05664	-0,5664
2	-8	64	3,0	3,0	0,47712	+0,05664	-0,4531
6	-4	16	3,5	2,5	0,39794	-0,02254	+0,0902
8	-2	4	3,1	2,9	0,46240	+0,04192	-0,0838
12	+2	4	3,2	2,8	0,44716	+0,02668	+0,0533
14	+4	16	3,8	2,2	0,34242	-0,07806	-0,3122
18	+8	64	3,5	2,5	0,39794	-0,02254	-0,1803
20	+10	100	3,7	2,3	0,36173	-0,05875	-0,5875
$\Sigma t = 80$		$\Sigma u^2 = 368$			$\Sigma b = 3,36383$		$\Sigma uv = -2,3268$
$\bar{t} = 10$					$\bar{b} = 0,42048$		

$$\bar{m} = \frac{\Sigma uv}{\Sigma u^2} = \frac{-2,3268}{368} = -0,00632$$

$$\bar{q} = \bar{b} - \bar{m}\bar{t} = 0,42048 + 0,06323 = 0,48371$$

$t$	$\overline{mt} + \overline{q} = \log a'$	$y - y' = a'$	$y'$	$y - y'$
0	0,48371	3,0	3,0	-
2	0,47107	3,0	3,0	-
6	0,44579	2,8	3,2	+0,3
8	0,43315	2,7	3,3	-0,2
12	0,40787	2,6	3,4	-0,2
14	0,39523	2,5	3,5	+0,3
18	0,36995	2,3	3,7	-
20	0,35731	2,3	3,7	-
				<u>0,0</u>

Met  $y_m = 5,5$  is de uitkomst  $m = -0,00685$  en zijn de vereffende waarden precies gelijk.

Wij hebben dus nu het gebied van  $y_m$ 's gevonden, waar zij tot één decimaal tot dezelfde vereffende waarden voeren.

In dit gebied moet nu de beste  $y_m$  uitgezocht worden. De reeks van de vereffende  $y'$  wordt nu opgesteld voor de tijden  $t$  opklimmende met 1 van 0 tot 20, welke periode het gehele waarnemingsbereik omvat. Dit zijn 21 gevallen, welke in drie groepen van zeven kunnen worden ingedeeld.

De kolom  $mt + q$  uit de laatste tabel wordt nu aangevuld met de ontbrekende tijden, en daarmee worden eveneens de kolommen  $a'$  en  $y'$  aangevuld.

Dit getransformeerde materiaal, dat voldoet aan een geheel gebied van  $y_m$ 's, wordt nu onderworpen aan een bewerking, welke de  $y_m$  nader moet localiseren. Uitgegaan wordt van die  $y_m$  in de voorgaande bewerking, welke het dichtst ligt bij het waarnemingsmateriaal.

De berekening gaat als volgt voor  $y_m = 5,5$ .

$t$	$y'$	$a = y_m - y'$	$b = \log a$
0	3,0	2,5	0,39794
1	3,0	2,5	0,39794
2	3,1	2,4	0,38021
3	3,1	2,4	0,38021
4	3,2	2,3	0,36173
5	3,2	2,3	0,36173
6	3,2	2,3	0,36173
7	3,3	2,2	0,34242
8	3,3	2,2	0,34242
9	3,3	2,2	0,34242
10	3,4	2,1	0,32222
11	3,4	2,1	0,32222
12	3,4	2,1	0,32222
13	3,5	2,0	0,30103
14	3,5	2,0	0,30103
15	3,5	2,0	0,30103
16	3,6	1,9	0,27875
17	3,6	1,9	0,27875
18	3,6	1,9	0,27875
19	3,6	1,9	0,27875
20	3,7	1,8	0,25527

$$\begin{array}{l} 6 \\ \Sigma b = 2,64149 \\ t = 0 \end{array} \quad \text{(I)}$$

$$\begin{array}{l} 13 \\ \Sigma b = 2,29495 \\ t = 7 \end{array} \quad \text{(II)}$$

$$\begin{array}{l} 20 \\ \Sigma b = 1,97233 \\ t = 14 \end{array} \quad \text{(III)}$$

$$\text{II} - \text{I} = -0,34654 \quad \text{(A)}$$

$$\text{III} - \text{II} = -0,32262 \quad \text{(B)}$$

$$\text{B} - \text{A} = +0,02392 \quad \text{(C)}$$

In het uitgewerkte voorbeeld geeft  $C$ , en dus  $B - A$  aan, dat de lijn, weergevende  $\log(y_m - y)$ , in de tweede helft minder sterk daalt dan in de eerste helft (vandaar dat  $C$  positief is). Dit betekent, dat  $y_m$  te hoog gekozen is (N.B. Meer algemeen gesteld betekent het, dat  $y_m$  te ver van het waarnemingsmateriaal verwijderd gekozen is, of bij een stijgende reeks van humusgehalten zoals de onderhavige te hoog, echter bij een dalende reeks te laag). Er werden daarom andere  $y_m$ 's geprobeerd, welke slechts in hun eindresultaten worden weergegeven:

$y_m$	5,0	4,7	4,65
$C$	+0,01641	+0,00255	-0,00123

Was  $y_m = 4,7$  nog te hoog,  $y_m = 4,65$  blijkt iets te laag te zijn. Als beste  $y_m$  wordt dus aangenomen  $y_m = 4,7$  (in feite omstreeks 4,67).

Hiermede wordt als slot de rechtlijnige vereffening van  $\log(y_m - y)$  uitgevoerd om daarmee de beste  $m$  (en dus  $K_s$ ) en vereffende  $y$ 's te vinden, terwijl tevens de betrouwbaarheid van  $y_0$  en  $K_s$  bij deze  $y_m$  wordt bepaald. Deze bewerking verloopt als de eerste rechtlijnige vereffening (die met  $y_m = 6$ ), echter wordt thans een kolom  $v^a$  toegevoegd daar  $\Sigma v^a$  nodig is voor de berekening van de fouten. Wij vinden nu  $m = -0,011805$ , dus  $K_s = 0,0272$ .

De foutenberekening levert op:  $\sigma_m^- = 0,0036$  en  $\sigma_q^- = 0,0434$ . Uit  $\sigma_m^-$  volgt  $\sigma_{\bar{K}_s} = \frac{m}{0,4343} = 0,0083$  en uit  $\sigma_q^-$  volgt  $\sigma_{y_0} = \frac{y_m - y_0}{0,4343} \cdot \sigma_q^- = \frac{4,7 - 3,0}{0,4343} \cdot 0,04344 = 0,17$ .

Het resultaat is

$$\begin{array}{l} K_s = 0,0272 \pm 0,0083 \\ y_0 = 3,0 \pm 0,2 \end{array}$$

Dus  $y_0$  wordt zuiver teruggevonden;  $K_s$  daarentegen te groot, wat samenhangt met de  $y_m$ , welke te laag werd teruggevonden, zodat de afbraak volgens beide parameters sterker schijnt, dan deze in het oorspronkelijke materiaal was. Overigens ligt de echte  $K_s$  nog niet  $1 \times \sigma$  van de gevondene af. Met afwijkingen in de uitkomsten van deze orde van grootte moet dus steeds rekening worden gehouden. Heeft men slechts één cijferreeks, dan kan men de uitkomsten niet nauwkeuriger bepalen. Heeft men meerdere objecten, dan is het vaak mogelijk deze door vereffening nog te verbeteren.

Uit  $K_1x = K_2y_m$  volgt  $K_1x = 0,127$  en daar  $x$  (als regel geschat uit wortel- en stoppel-resten en bijvoorbeeld een hoeveelheid stalmest en uit het eveneens geschatte bouwvoorgewicht) in dit geval gesteld was op 0,25 wordt  $K_1 = 0,51$  en  $K_1/K_2 = 18,7$ . Dit laatste quotiënt was in het tevoren opgestelde model 20, zodat dit ondanks alles zeer dicht benaderd wordt: beide,  $K_1$  en  $K_2$ , worden vrijwel evenveel te hoog gevonden.

De bewerking is ook nog uitgevoerd met het materiaal van pag. 26, nu aangevuld tot 21 gegevens ook lopende over 20 jaar, met behoud van dezelfde systematiek in de aangebrachte fouten. Gevonden werd  $y_m = 5,1$  en  $m = -0,00877$  dus  $K_2 = 0,0202$ . Verder  $\sigma_{K_2} = 0,0046$  en  $y_0 = 0,162$  of wel  $K_2 = 0,0202 \pm 0,0046$  en  $y_0 = 3,0 \pm 0,12$ . Deze uitkomst is zeer dicht bij de werkelijkheid, of met andere woorden, een groter aantal gegevens met dezelfde fout belast, maakt de bewerking nauwkeuriger en betrouwbaarder. Dit voorbeeld demonstreert op onmiskenbare wijze, dat met fouten, zoals deze in het praktische werk voorkomen (er komen trouwens nog wel grotere voor!) werkelijk betrouwbaar gewerkt kan worden als het aantal beschikbare humusgehalten de 20 nadert. Dit nu is slechts zelden het geval. Er kan naar gestreefd worden (in proeven inzake het verband tussen voorziening met organische stof en humusgehalte) dit stadium zo snel mogelijk te bereiken, door jaarlijks humusbepalingen te doen verrichten.

Aan het bezwaar van de lange tijd, die er mee gemoeid is om 20 humusbepalingen te hebben, wordt tegemoet gekomen door twee mogelijkheden, welke beide het te geringe aantal gegevens per object kunnen goedmaken. Soms zullen zij in eenzelfde onderzoek beide worden toegepast. Deze mogelijkheden zijn:

- Het bewerken van de som of het verschil van twee getallenreeksen of groepen van getallenreeksen.
- Het geval, dat er bij een aantal objecten verband bestaat tussen de toevoer van organische stof bij gelijkheid van  $K_1$ .

Beide berusten op de aanname van de additiviteit van de invloed van  $K_1x$  op  $y_m$ , bij dezelfde factor in verschillende intensiviteiten en bij verschillende factoren.

#### Ad. a

Heeft men een object met toevoer  $x_a$  en een ander met toevoer  $x_a + x_b$ . De humusgehalten zullen dan verlopen volgens de formules

$$\ln \frac{K_2 y_{0a} - K_{1a} x_a}{K_2 y_a - K_{1a} x_a} = K_2 t$$

$$\ln \frac{K_2 y_{0ab} - K_{1a} x_a - K_{1b} x_b}{K_2 y_{ab} - K_{1a} x_a - K_{1b} x_b} = K_2 t$$

Dit is onder aanname van een gelijke  $K_2$  in beide gevallen. Uit de beide formules volgt:

$$y_a = y_{0a} e^{-K_2 t} - y_{ma} e^{-K_2 t} + y_{ma}$$

$$y_{ab} = y_{0ab} e^{-K_2 t} - y_{ma} e^{-K_2 t} + y_{ma} - y_{mb} e^{-K_2 t} + y_{mb}$$

dus

$$y_{ab} - y_a = (y_{0ab} - y_{0a}) e^{-K_2 t} - y_{mb} e^{-K_2 t} + y_{mb}$$



of als de verschillen door  $v$  worden aangegeven:

$$y_v = y_{0v}e^{-K_2t} - y_{mb}e^{-K_2t} + y_{mb}$$

Had  $b$  alleen gewerkt, dan waren de gehalten verlopen volgens de formule

$$y_b = y_{0b}e^{-K_2t} - y_{mb}e^{-K_2t} + y_{mb}$$

Het verschil in humusgehalte bij toediening van  $x_a$  en  $x_a + x_b$  gedraagt zich precies gelijk aan het humusgehalte bij toediening van  $x_b$  alleen. De gevolgde redenering geldt ongewijzigd bij alle algebraïsche sommen van termen  $K_1x$ . Dit echter met dien verstande, dat de additiviteit en de gelijkheid van  $K_2$  juiste aannamen zijn.

Blijkt dit in overeenstemming met de feiten, dan heeft men hierin een middel om door samenvoeging van objecten welke elk voor zich te zwak zijn, toch tot resultaten te komen.

#### *Ad. b*

Heeft men een aantal objecten, waarin de  $x$ 'en verschillende lineaire combinaties zijn van enkele vormen van organische stof (bijvoorbeeld stalmesthoeveelheden met en zonder groenbemesting) dan bestaat er, wederom onder aanname van additiviteit en van gelijke  $K_2$ , ook een lineair verband tussen de juiste  $y_m$ 's op grond van de formule  $y_m = (K_1/K_2)x$  als eveneens  $K_1$  constant is. Door de fouten in de waarnemingen per object wordt niet voor elk object de juiste  $y_m$  gevonden. Men kan dan de gevonden 'beste'  $y_m$ 's vereffenen volgens de methode van de vereffening van indirecte waarnemingen van meer variabelen waarbij slechts lineaire verbanden optreden, welke methode door VAN UVEN (52) beschreven is op pagina 113 e.v.

Hiermede wordt dan voor elke vorm, waarin  $x$  is toegediend een  $y_m$  verkregen, welke niet precies gelijk is aan de tevoren gevonden 'beste'  $y_m$ . De nieuwe  $y_m$  steunt echter op het gehele waarnemingsmateriaal en niet op dat per object, en wint daardoor aan betekenis.

In beide gevallen zal de mate van overeenstemming van de uiteindelijk vereffende waarden en de daarbij gebruikte parameters met andere bekende feiten moeten doen besluiten of de gemaakte veronderstellingen toelaatbaar waren of niet.

## II TOETSING VAN DE THEORIE

### 1 INLEIDING

Nadat in het voorgaande hoofdstuk uiteengezet zijn de theorie en de bij toepassing van de theorie behorende bewerkingsmethoden zal in dit hoofdstuk de theorie aan een toetsing worden onderworpen. Deze toetsing bestaat daaruit, dat wordt nagegaan of de met behulp van de theorie uit een waarnemingsmateriaal berekende parameters in staat zijn dat waarnemingsmateriaal adaequaat te beschrijven en waar mogelijk, hoe het staat met de voorspelbaarheid.

Voor de toetsing zijn benut 5 gevallen, welke zich daartoe lenen, alle van Nederlandse bodem. Van de beroemde buitenlandse oude proefvelden (zoals die van Rothamsted en Halle) worden te weinig humusgehalten vermeld. Trouwens er zijn slechts weinig gevallen, welke zich voor het doel lenen, daar er een niet te klein aantal humusbepalingen over een niet te korte periode verricht moet zijn, liefst met enige variatie in voorziening met organische stof in de verschillende objecten en ook bij voorkeur met een duidelijke verandering, hetzij een stijging hetzij een daling van de humusgehalten gedurende de observatieperiode.

De 5 gevallen zijn op een na of proeven van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid of proeven waarmee dit Instituut intensieve bemoeienis heeft (c.q. heeft gehad). De ene uitzondering is een praktijkgeval.

Daar de te behandelen gevallen niet voor het doel, waarvoor zij thans worden benut, zijn aangelegd zijn zij zeer ongelijk van opzet en zijn de grondsoort en de toegepaste organische bemesting toevallig en niet doelbewust gekozen.

Ter toetsing van de juistheid van de theorie zal voorts nog een potproef behandeld worden, welke de mogelijkheid van een directe bepaling van  $K_1$  demonstreert; direct in deze zin, dat  $K_1$  niet, zoals meestal het geval is, volgt uit  $y_m = (K_1/K_2)x$  nadat  $y_m$ ,  $K_2$  en  $x$  bekend zijn.

### 2 GEEN AANVOER VAN ORGANISCHE STOF

Allereerst zal de ontwikkelde methodiek worden toegepast op het geval van Pr. 1 (1265), dat aanleiding is geworden tot dit onderzoek. De juistheid van de tot dusver gevolgde gedachtengang aannemende, zou men de humusgehalten in het object 'onbebouwd' moeten vereffen op de functie

$$\log \frac{y_0}{y} = 0,4343 K_2 t \text{ of anders op } \frac{y}{y_0} = (1 - K_2)^t.$$

Dit komt neer op een restloze afbraak, dus gaande tot een humusgehalte  $y = 0$ . Als dit juist is, zou gekomen moeten worden tot  $y_m = 0$ .

Elk aprioristisch standpunt verlatende, werd de algemene methodiek toegepast, teneinde te kunnen uitmaken of het materiaal inderdaad aanleiding gaf tot de aanname van een restloze afbraak.

Daar het object 'bebouwd' bijna horizontaal verloopt, en daardoor moeilijk te verwerken is, werd gebruik gemaakt van achtereenvolgens de som en het verschil van beide objecten. De som leverde bij de tevoren beschreven methodiek op  $y_m = 1,87$  en  $m (= -0,4343 K_2) = -0,00775 \pm 0,00067$ , en het verschil  $y_m = 1,57$  en  $m = -0,00765 \pm 0,00071$ .

De  $m$  (en dus  $K_2$ ) is in beide gevallen vrijwel gelijk, terwijl voor  $y_m$  te berekenen valt:

$$\begin{array}{rcl} y_m \text{ bebouwd} + y_m \text{ onbebouwd} & = & 1,87 \\ y_m \text{ bebouwd} - y_m \text{ onbebouwd} & = & 1,57 \\ \hline 2y_m \text{ bebouwd} & = & 3,44 \\ 2y_m \text{ onbebouwd} & = & 0,30 \\ y_m \text{ bebouwd} & = & 1,72 \\ y_m \text{ onbebouwd} & = & 0,15 \end{array}$$

Met deze  $y_m$ 's (bepaald aan het gehele materiaal met 14 gegevens) wordt nu per object gevonden:

$$\begin{array}{rcl} m \text{ bebouwd} & = & -0,00801 \pm 0,00324 \\ m \text{ onbebouwd} & = & -0,00771 \pm 0,00045 \end{array}$$

Wij komen tot de conclusie, dat er een afbraak is, niet tot 0 gaande, maar tot een zeker bedrag ( $y = 0,15$ ), zodat er een rest aan humus is, welke niet afgebroken wordt.

Ter onderscheiding zullen we deze grenswaarde aanduiden met  $y_i$  (waarin  $i$  betekent inert). Is er toevoer van organisch materiaal, en tevens een rest aan inerte humus, dan is  $y_i$  een gedeelte van  $y_m$ .

Vanzelf rijst nu de vraag, of de hoogte van  $y_i$  onafhankelijk is van toevoer van organische stof, of met andere woorden, of van de toegevoerde organische stof niets bijdraagt tot verhoging van  $y_i$ . De inerte humus zou dan met de grondsoort samenhangen, bij voorbeeld door de aanwezigheid van een gegeven hoeveelheid van bepaalde minerale bodemdelen, welke in staat zijn tot het aangaan van bindingen met humus (waarin deze onaantastbaar is vastgelegd). Zou evenwel de voortschrijdende aantasting van de humus betekenen een achterblijven van een steeds minder aantastbaar wordend deel, en aldus voeren tot een in de richting van verkoling gaande humificatie, dan zou ook toevoeging van organisch materiaal moeten voeren tot een verhoging van  $y_i$ . Deze vraag is aan de hand van het in deze proef voorhanden materiaal niet op te lossen.

De  $m$  was in beide gevallen praktisch gelijk en gemiddeld  $-0,0079$ . Hieruit volgt (wegens  $m = -0,4343 K_2$ )  $K_2$  is  $0,018$ . En omdat  $y_m = (K_1/K_2)x$  is in het object 'bebouwd'  $1,72 = K_1x/0,018$  of  $K_1x = 0,0310$ . Hierin is de  $x$  bij de toegepaste gewassenkeuze en het geschatte bouwvoorgewicht (pag. 16) gelijk aan  $0,0833$ . Dus

$K_1 = \frac{0,0310}{0,0833} = 0,37$ . Dit maakt, dat  $\frac{K_1}{K_2} = \frac{0,37}{0,018} = 20$ , of met andere woorden  $y_m = 20x$ .

Opgemerkt zij, dat hoewel het weinig verschil maakt, de hier gevolgde redenering niet geheel juist is. Immers, door de begroeiing ( $x = 0,0833$ ) stijgt  $y_m$  met  $1,72 - 0,15 = 1,57$ . Daar  $1,57 : 0,0833 = 19$  is  $y_m - y_t = 19x$ . De formule welke het verband tussen  $y_m$  en  $x$  weergeeft (aannemende dat dit verband bij verschillende waarden voor  $x$ , dus verschillende vormen en hoeveelheden van organische stof, lineair is) luidt dus  $y_m = 19x + 0,15$ . De hier gestelde aanname zal bij de hierna te bespreken proeven steeds weer ontmoet worden, waarbij de juistheid ervan steeds vaster zal komen te staan.

Met de thans bekende parameters kan het materiaal vereffend worden en kan ook een prognose gesteld worden voor het verdere verloop.

$t$	0	5	7	12	20	21	22	$y_m$
gevonden onbebouwd	1,99	1,72	1,58	1,44	1,41	1,37	1,30	0,15
gevonden bebouwd	1,85	1,97	1,90	1,85	1,92	1,87	1,86	1,72
vereffend onbebouwd	1,92	1,77	1,71	1,57	1,38	1,36	1,34	0,15
vereffend bebouwd	1,92	1,91	1,90	1,89	1,87	1,87	1,87	1,72
correctie onbebouwd	-0,07	+0,05	+0,13	+0,13	-0,03	-0,01	+0,06	
correctie bebouwd	+0,07	-0,06	0,00	+0,04	-0,05	0,00	+0,01	

$t$	0	50	100	150	200	250	300
onbebouwd	1,92	0,86	0,44	0,27	0,20	0,17	<0,16
bebouwd	1,92	1,83	1,79	1,78	<1,77		

De aansluiting van de gevonden bij de vereffende waarden is zeer goed (gemiddelde afwijking 0,02, grootste afwijking 0,13). Er zullen later in andere gevallen sterkere schommelingen worden aangetroffen.

Uit de prognose blijkt, dat het evenwicht eerst na enkele eeuwen wordt bereikt. Deze prognose is weliswaar een ver gaande extrapolatie. Er is echter een mogelijkheid om deze te toetsen aan de werkelijkheid. Na de luzerne in 1937 tot en met 1939 is namelijk het object onbebouwd voortgezet tot op heden, echter met splitsing in 1950 in:

1. onbebouwd
2. onbebouwd + stalmest à 15 ton per ha per jaar.
3. bebouwd
4. bebouwd + stalmest à 15 ton per ha per jaar.

Deze objecten worden voortgezet. Het aantal humusbepalingen in deze objecten is thans nog te gering om zich te lenen voor een nauwkeurige verwerking, maar zal te zijner tijd de thans opgestelde prognose bevestigen of aanleiding geven tot herziening. Intussen kan er toch wel iets uit worden geleerd. De humusgehalten bedroegen voor object 1:

jaar	1940	1941	1950	1953	1955	1957	1958	1960	1961
	1,41	1,37	1,2	1,35	1,6	1,2	1,3	1,1	1,2

(N.B. Het jaar 1953 geeft het gemiddelde van twee bepalingen).

Object 1 loopt, vanaf de luzerne na de splitsing, ongewijzigd door, zij het dat het areaal teruggebracht is tot een vierde van de oorspronkelijke grootte. Het vertoont in 1955 een kennelijke uitbijter, evenwel werd het niet toelaatbaar geacht deze weg te laten, daar niet positief bekend is, dat deze waarneming fout is. Er werd vereffend volgens de gebruikelijke procedure. Gevonden werd voor  $y_0$ , dit is de waarde in 1939, direct na het onderwerken van de luzerne, 1,41. Was er geen luzerne verbouwd, dan zou het oorspronkelijke object onbebouwd in 1939 ( $t = 28$ ) een humusgehalte gehad hebben van 1,22. De onmiddellijke humusverrijking door drie-jarige luzerne is dus 0,19% van het gewicht van de bouwvoor of 5700 kg humus.

Deze 5700 kg humus zijn evenwel niet ontstaan uit in het voorafgaande jaar opgehoopte organische stof doch uit die van drie voorafgaande jaren. Die uit het eerste jaar is na humificatie nog twee jaar, die uit het tweede jaar nog een jaar aan afbraak onderhevig geweest. Nemen wij schematiserende aan, dat de aanvoer aan organisch materiaal in de drie jaren bedraagt  $x$ ,  $2x$  en  $4x$ , dan hebben wij

$$K_1x(1 - K_2)^2 + 2K_1x(1 - K_2) + 4x = 0,19.$$

Bij aanname van  $K_1 = 0,37$  en  $K_2 = 0,018$  zoals tevoren gevonden is (hoewel op dit moment geenszins bewezen is, dat dit toelaatbaar is, zal later de aannemelijkheid ervan blijken) volgt hieruit  $x = 0,078$ . De toevoer aan organisch materiaal zou dus bedragen 2250, 4500 en 9000 kg. Deze hoeveelheden zijn zeer aannemelijk.

In de andere objecten gedroegen de humusgehalten sedert de splitsing zich op de volgende wijze:

	1953	1955	1957	1958	1960	1961
2. Onbeb. + stm.	1,4	1,8	1,4	1,4	1,5	1,5
3. Bebouwd	1,35	1,5	1,7	1,4	1,4	1,4
4. Beb. + stm.	1,6	1,7	1,5	1,7	1,7	1,7

De bebouwing bestond uit een vruchtwisseling, welke minder organisch materiaal leverde, dan tevoren (meer hakvruchten). De toevoer wordt gesteld op 2100 kg, dus  $x = 0,070$ . De 15 ton stalmest bevatten 2100 kg organische stof of  $x = 0,070$ . In de vier objecten is de  $x$  dus achtereenvolgens 0, 0,07, 0,07 en 0,14. Volgens  $y_m = 19x + 0,15$  moet  $y_m$  zijn 0,15, 1,52, 1,52 en 3,19. Het is in dit materiaal niet te controleren, of dit zo is. De objecten 2 en 3 schommelen reeds om deze  $y_m$ , terwijl voor object 4 verdere gegevens moeten worden afgewacht.

### 3 SOORTEN EN HOEVEELHEDEN ORGANISCHE STOF

De thans aan de orde zijnde proef (PO 168 te Heino) werd in 1940 aangelegd. Bewerkingen ervan zijn verschenen van de hand van GROOTENHUIS (6) en WISSELINK (36).

De proef omvat 10 objecten in enkelvoud, gelegen op naast elkaar liggende stroken. De grond is een oude esgrond, met een 1 meter dikke humushoudende laag.

Er is een vaste drie-jarige vruchtopvolging van aardappelen, rogge en haver. In een aantal objecten worden stoppelknollen na de rogge en snijrogge na de haver verbouwd; in enkele daarvan worden deze afgeoogst, in andere ondergeploegd. Stalmest wordt, indien gegeven, toegediend in hoeveelheden van 30 ton voor aardappelen en 20 ton voor rogge, haver, stoppelknollen en snijrogge. Zodoende ontstaan per drie-jarige cyclus de combinaties 30 ton voor aardappelen, 40 ton voor de groenbemesters, 70 ton voor de drie hoofdgewassen en 110 ton voor alle zeven gewassen. Er wordt bij de berekeningen geen rekening gehouden met het verschil in tijdstip van toediening (vóór hoofdgewassen of vóór groenbemesters) van de stalmest.

Noemen wij de hoeveelheid droge organische stof geleverd door 10 ton stalmest  $p$ , die van de wortels en stoppels der groenbemesters (dus bij afoogsten)  $q$ , die van de bovengrondse delen der groenbemesters bij onderploegen  $r$ , en die van de wortels en stoppels der hoofdgewassen  $s$ , alles gerekend per drie jaar.

Deze hoeveelheden worden geschat op  $p = 1300$  kg per ha,  $q = 2500$ ,  $r = 2500$  en  $s = 6000$ . Daar volgens WISSELINK het bouwvoorgewicht 2,58 bedraagt, is  $x$  resp. 0,0168, 0,0323, 0,0323 en 0,0775.

Er zijn de volgende combinaties:

	<i>Bemesting</i>			$x$
I	$11 p + q$	$+ s$		0,295
II	$7 p + q$	$+ s$		0,227
III	$4 p + q$	$+ s$		0,177
IV	$4 p + q + r + s$			0,209
V	$q + r + s$			0,142
VI	$q$	$+ s$		0,110
VII	$3 p + q$	$+ s$		0,160
VIII	$3 p$	$+ s$		0,128
IX	$7 p$	$+ s$		0,195
X		$s$		0,078

Tot nu toe werden 8 maal de humusgehalten bepaald. (pag. 36).

Aan deze uitkomsten is terstond zichtbaar, dat het moeilijk zou zijn, zeker bij de vlak verlopende reeksen als in object 1 en 2, per object de grootte der verschillende parameters met enige betrouwbaarheid te bepalen; daarvoor zijn zij, bij hun geringe aantal te grillig. In deze grilligheid zijn behalve toevalsschommelingen ook jaarinvloeden te onderkennen: zo is bijvoorbeeld 1956 over de hele linie hoog. Zoveel mogelijk moet er dus naar gestreefd worden de 10 objecten met 80 bepalingen in onderling verband te behandelen.

	1943	1949	1950	1951	1953	1956	1958	1960
I	6,0	6,0	5,6	5,8	5,7	6,0	5,4	6,1
II	6,1	5,8	5,7	5,7	5,6	5,8	5,9	5,7 <sup>a</sup>
III	5,8	5,7	5,6	5,5	5,5	5,7	5,2	5,5
IV	6,0	5,5	5,5	5,4	5,3	5,7	5,3	5,7
V	5,5	5,4	5,5	5,4	5,4	5,5	5,2	5,4
VI	5,5	5,2	5,3	5,2	5,3	5,4	4,8	5,2 <sup>a</sup>
VII	5,8	5,5	5,3	5,3	5,5	5,6	4,9	5,3
VIII	5,9	5,3	5,4	5,2	5,3	5,4	5,3	5,3
IX	6,0	5,5	5,5	5,4	5,5	5,6	5,4	5,7
X	5,7	5,4	5,1	5,2	5,3	5,3	5,0	5,0 <sup>a</sup>
Gem.	5,83	5,53	5,45	5,41	5,42	5,60	5,24	5,50

Om aan de bezwaren van het vlakke verloop tegemoet te komen, werden op het oog de 10 objecten gerangschikt naar de sterkte van de daling, en wel van zwak naar sterk. Deze volgorde leek te zijn I, II, IX, V, IV, III, VI, VIII, VII en X. Per jaar werden nu gesommeerd de humusgehalten van I-X, II-X, IX-X, enz., zodat de sommen van achtereenvolgens 10, 9, 8, . . . , 1 objecten ontstonden.

Deze sommen werden op de gebruikelijke wijze vereffend. Als  $y_m$  werd gevonden:

I-X	II-X	IX-X	V-X	IV-X	III-X	VI-X	VIII-X	VII-X	X
38,6	36,3	29,8	25,0	22,3	15,3	11,8	10,1	6,3	2,4

Met deze ('beste')  $y_m$ 's werden de vereffende waarden in twee decimalen bepaald per waarnemingsdatum. Door aftrekking hiervan twee aan twee, werden de vereffende waarden in twee decimalen per object verkregen. Hierbij kon wel, ook bij de vlak verlopende objecten, de  $y_m$  worden vastgesteld. Deze bedroeg per object:

I	II	IX	V	IV	III	VI	VIII	VII	X
5,61	5,54	5,01	4,21	4,67	4,46	3,36	4,01	4,21	2,40

Worden deze uitkomsten gerangschikt naar  $p$ ,  $q$  en  $r$ , dan blijkt de invloed van elk steeds naast die van de beide andere:

$p$	0	3	4	7	11
	2,40	4,01		5,01	
$q$	3,36	4,20	4,46	5,54	5,61
$q + r$	4,21		4,67		

Wij nemen aan, dat de invloed van  $p$ ,  $q$ ,  $r$  en  $s$  op  $y_m$  additief is, daar het tegendeel uit de verkregen uitkomsten niet te bewijzen is. De 10 uitkomsten worden nu bewerkt

volgens de methode voor indirecte waarnemingen van meer variabelen volgens VAN UVEN, pag. 113 (voor object I is bijvoorbeeld  $11p + q + 0r + s = 5,61$ ).

De uitkomst is  $p = 0,24 \pm 0,04$

$q = 0,43 \pm 0,32$

$r = 0,54 \pm 0,38$

$s = 2,99 \pm 0,28$

Het blijkt, dat  $p$  en  $s$  betrouwbaar van 0 afwijken,  $q$  en  $r$  echter niet. Daar deze ook onderling vrijwel gelijk zijn, stellen wij ze aan elkaar gelijk en doen de bewerking over met drie variabelen. (Hierdoor veranderen slechts de objecten IV en V, waarin  $r$  voorkomt. Hier wordt in plaats van  $q + r$  geschreven  $2q$ ).

Nu wordt de uitkomst  $p = 0,24 \pm 0,04$

$q = r = 0,47 \pm 0,19$

$s = 2,98 \pm 0,27$

Nu zijn ze alle betrouwbaar.

Dit brengt de vereffende waarden voor  $y_m$  per object op:

I	II	IX	V	IV	III	VI	VIII	VII	X
6,10	5,13	4,66	3,93	4,89	4,42	3,45	3,70	4,17	2,98

Dit zijn nu de definitieve waarden voor  $y_m$ . Hierbij moet bedacht worden, dat deze  $y_m$ 's nu niet per object de 'beste' zijn maar wel gezamenlijk voor het gehele materiaal van 80 waarnemingen (en dan onder aanname van de additieve werking van  $p$ ,  $q$ ,  $r$  en  $s$ ). Bij lineaire vereffening met deze  $y_m$ 's vormt  $\log(y - y_m)$  dus niet een rechte lijn. Toch wordt deze wel als een rechte lijn behandeld, wat vanzelfsprekend niet zonder invloed is op de fout van de te bepalen parameters. Echter ook daarbij zal steeds weer het gehele materiaal in onderling verband bekeken worden.

De vereffende  $y_m$ 's, uitgezet tegen  $x$ , leveren de functie  $y_m = 14x + 1,80$  op. Als  $x = 0$  (afwezigheid van elke aanvoer van organisch materiaal) is er dus een  $y_t = 1,80$ . De aanwezigheid van  $y_t$  brengt teweeg, dat in object I  $y_m = 20x$  en bij object X  $y_m = 34x$ , terwijl de andere objecten daar tussen liggen. Bij  $y_m = 4$  (het gemiddelde humusgehalte in Nederland) is  $y_m = 25x$ .

Of  $y_t$  juist is, en of  $y_t$  in alle objecten gelijk is, is nog niet bewezen. Zo kan beredeneerd worden, dat verhoogde aanvoer van organische stof (na jarenlange afbraak van steeds moeilijker aantastbaar wordend materiaal) zou moeten voeren tot een verhoging van  $y_t$ . Evengoed echter, dat verhoogde aanvoer van materiaal, dat bij uitstek aantastbaar heet (als de bovengrondse delen van leguminosen) een zodanige stimulering van de afbraak teweeg zou brengen, dat daardoor zelfs  $y_t$  zou worden aangetast. Slechts door voortgezet onderzoek, ook in het laboratorium, zal men hier tot een uitspraak kunnen komen. In een latere paragraaf wordt nog op de hier gevonden  $y_t$  teruggekomen.

Met de thans bekende  $y_m$ 's wordt nu overgegaan tot de bepaling van  $K_s$  door recht-



lijnige vereffening (per object) van  $y' = -0,4343 K_2 t + n$ , waarin  $y' = \log (y - y_m)$ . Hieruit werden de volgende uitkomsten verkregen met de ruwe gegevens van de combinaties van 10, 9, 8, . . . , 1 objecten – in de volgorde als bij de allereerste bewerking – voor  $-10^3 m(m = -0,4343 K_2)$ .

I-X	II-X	IX-X	V-X	IV-X	III-X	VI-X	VIII-X	VII-X	X
6,921	6,477	6,567	6,569	7,183	6,966	6,677	7,299	8,015	6,224

Hieruit valt, noch met  $p$ ,  $q$ ,  $r$  en  $s$ , noch met  $x$  enig verband te halen, terwijl er ook onderling geen significante verschillen bestaan. Het gemiddelde wordt als algemeen geldend aangenomen. Voor de berekening van het gemiddelde worden gewichten toegekend, gelijk aan het aantal objecten, dat per bepaling was samengevoegd. Dit gemiddelde bedraagt  $m = -0,006815$ , dus  $K_2 = 0,01569$ .

Met de thans bekende  $K_2$  (of  $m$ ) en  $y_m$  moet nog  $y_0$  per object berekend worden. Wij vinden voor  $y_0$

Object	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	gem.
$y_0$	5,77	5,93	5,81	5,69	5,73	5,63	5,64	5,76	5,78	5,75	5,75

Het gemiddelde der 10 objecten kan niet voor alle worden aangenomen, wat reeds daaruit blijkt, dat in object II, waar de humusgehalten dalen, alle humusgehalten boven (of slechts zeer weinig beneden) het uitgangshumusgehalte zouden liggen. Voor object II moet dus de berekende  $y_0$  worden aangenomen; evenzo is dit het geval met enkele andere objecten. Na afronding komen wij tot de volgende  $y_0$ :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
5,8	5,9	5,8	5,7	5,7	5,6	5,6	5,8	5,8	5,8

Thans zijn alle parameters bekend en kunnen de humusgehalten aan de hand van de (als 'beste' aangenomen) waarden van die parameters berekend worden voor de nu achter de rug zijnde proefperiode maar ook als prognose voor het verdere verloop.

Voor de afgelopen twintigjarige periode worden aldus de volgende vereffende waarden gevonden (in één decimaal):

$t$	0	3	9	10	11	13	16	18	20
I	5,8	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
II	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7
III	5,8	5,7	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5	5,4
IV	5,7	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5
V	5,7	5,6	5,5	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3	5,2
VI	5,6	5,5	5,3	5,3	5,3	5,2	5,1	5,1	5,0
VII	5,6	5,5	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3	5,2
VIII	5,8	5,7	5,5	5,5	5,5	5,4	5,3	5,3	5,2
IX	5,8	5,8	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5
X	5,8	5,7	5,4	5,4	5,4	5,3	5,2	5,1	5,1

Dit levert de volgende afwijkingen met de gevonden waarden op ( $y$  vereffend -  $y$  berekend):

	3	9	10	<i>t</i> 11	13	16	18	20	gem. som.	gem. abs. som.
I	-0,2	-0,2	+0,2	+0,1	+0,2	-0,1	+0,5	-0,2	+0,04	0,21
II	-0,2	0,0	+0,1	+0,1	+0,2	-0,1	-0,2	-0,05	-0,02	0,12
III	-0,1	-0,1	0,0	+0,1	0,0	-0,2	+0,3	-0,1	-0,01	0,13
IV	-0,3	+0,1	+0,1	+0,2	+0,3	-0,2	+0,2	-0,2	+0,03	0,20
V	+0,1	+0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,2	+0,1	-0,2	-0,03	0,10
VI	0,0	+0,1	0,0	+0,1	-0,1	-0,3	+0,3	-0,25	-0,02	0,14
VII	-0,3	-0,1	+0,1	+0,1	0,0	-0,3	+0,4	-0,1	-0,03	0,18
VIII	-0,2	+0,2	+0,1	+0,3	+0,1	-0,1	0,0	-0,1	+0,04	0,14
IX	-0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	0,0	+0,1	-0,2	+0,04	0,14
X	0,0	0,0	+0,3	+0,2	0,0	-0,1	+0,1	+0,05	+0,07	0,10
Gem. som	-0,15	+0,03	+0,09	+0,14	+0,08	-0,14	+0,18	-0,13	+0,01	
Gem. abs. som	0,16	0,11	0,11	0,14	0,10	0,14	0,22	0,14		0,14

Bij de 80 waarnemingen blijken de volgende afwijkingen voor te komen:

0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
13 ×	33 ×	22 ×	10 ×	1 ×	1 ×

De grootste afwijking is 0,5, terwijl het gemiddelde 0,14 bedraagt. Deze grootste afwijking komt juist voor in het (door zijn vlakke verloop) moeilijkst te bewerken object I. Het is te begrijpen, dat zulke afwijkingen ingeval het aantal gegevens kleiner is, tot zeer verkeerde uitkomsten kunnen voeren of de bewerking zelfs geheel onmogelijk maken. Toch zijn zulke afwijkingen bij de tegenwoordige stand van de humusbepaling (incl. de monsternamen als foutenbron) schering en inslag. In proeven waarin vaak jaarlijks of tweejaarlijks grondonderzoek wordt verricht ziet men meer dan eens de humusgehalten op deze wijze op en neer gaan.

De grote fout, waarmee de vaststelling van het humusgehalte behept is, maant tot voorzichtigheid bij het hanteren ervan voor de berekening van andere grootheden als bijvoorbeeld volumengewicht en kaligetal.

Met de gevonden parameters extrapolerende wordt de toekomstverwachting gevonden voor de jaren 1970 tot 2240 (zie pag. 40).

De ongelijkheid in  $y_0$ , in de hand gewerkt door de al te simpele opzet van de proef, bestaande uit 10 naast elkaar gelegen lange stroken per object (dus alles in enkelvoud), werkt storend op de uitkomsten. Zo begint bijvoorbeeld object VII lager dan object VIII, maar eindigt hoger. De lijnen der humusgehalten snijden elkaar dus: in de jaren

	$y_0$	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2090	2140	2240	$y_m$
I	5,8	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1
II	5,9	5,6	5,5	5,5	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3	5,2	5,1	5,1	5,1
III	5,8	5,3	5,2	5,0	5,0	4,9	4,8	4,7	4,7	4,5	4,5	4,4	4,4
IV	5,7	5,4	5,3	5,3	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	5,0	4,9	4,9	4,9
V	5,7	5,0	4,9	4,7	4,6	4,5	4,4	4,3	4,3	4,1	4,0	3,9	3,9
VI	5,6	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,5	3,5
VII	5,6	5,1	5,0	4,8	4,8	4,7	4,6	4,5	4,5	4,3	4,3	4,2	4,2
VIII	5,8	5,0	4,8	4,7	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	3,9	3,8	3,7	3,7
IX	5,8	5,4	5,3	5,2	5,1	5,1	5,0	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7
X	5,8	4,8	4,5	4,3	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	3,0	3,0

$t = 16, 18$  en  $20$  vallen zij (door afronding) gelijk. Tot aan het 16e jaar lag dus object VIII hoger dan object VII, hoewel het door de ingreep van de proef lager had moeten liggen. Zulke verschillen blijven nog heel lang doorwerken, hoewel zij geleidelijk afnemen, naarmate het einddoel wordt genaderd.

Thans na het beëindigen van het rekenwerk moet nog aandacht geschonken worden aan het feit, dat in deze proef de waarde van de organische stof voor de humusvorming onafhankelijk bleek van de vorm, waarin het organische materiaal werd toegediend, of met andere woorden, dat de invloed op het humusgehalte slechts afhangt van de hoeveelheid organische stof en niet van de aard van de toegepaste meststof. Of dit resultaat algemene geldigheid bezit moet nog worden afgewacht.

In deze proef althans stelt dit resultaat in staat uit te rekenen in welke hoeveelheden de verschillende toegepaste vormen van organische stof elkaar gelijkwaardig kunnen vervangen, wat betreft de humusverrijking, dus ongeacht de korte- duur effecten en andere neveneffecten. Dit volgt uit de waarden voor  $y_m - y_t$  bij  $p, q, r$  en  $s$ , welke respectievelijk 0,24, 0,47, 0,47 en 1,20 bedragen.

De beide groenbemesters in hun geheel ondergeploegd staan tezamen gelijk aan 39 ton stalmest in drie jaar, echter na afoogsten van de bovengrondse delen slechts aan de helft daarvan. Voorts staan de wortels en stoppels der hoofdgewassen gelijk aan 50 ton stalmest in drie jaar.

Wat de groenbemesting betreft geven deze uitkomsten basisgegevens voor de keuze tussen bedrijfssystemen, namelijk zuivere akkerbouw met de nodige voorziening met organische stof door groenbemesting met onderploegen versus gemengd bedrijf met stalmest en eventueel groenbemesting met afoogsten (aldus de tegenstelling in zijn meest pregnante vorm gesteld: er zijn immers ook tussenvormen).

De meest extreme tegenstelling in bedrijfstype is dus die tussen  $q + r$  en  $3,9 p$  (of anders die tussen  $q + r$  en  $1,95 p + q$ ). Bij het maken van deze keuze spelen een rol de ongelijke korte-duureffecten inhaerent aan stalmest en groenbemesting, en voorts de bedrijfseconomisch gefundeerde baten en lasten verbonden aan deze verschillende bedrijfstypen.

Voorts is het van belang te wijzen op het door WISSELINK (36) beschreven feit, dat

op het grondstuk, thans ingenomen door PO 168, van 1930 tot 1939 gelegen heeft de oude proef PO 6. Hierin kwamen voor stroken met verschil in stalrest en groenbemesting, welke in dezelfde richting liepen als de huidige objectstroken, maar daarmee niet geheel samenvallen. Dit feit heeft WISSELINK bij zijn correctie parten gespeeld. Deze werd n.l. uitgevoerd aan de hand van in 1956 aan weerszijden en even buiten de objectstroken genomen grondmonsters. Een zijde daarvan, de oostzijde, viel nog binnen de oude PO 6, wat ook aan de controlemonsters zichtbaar is:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
westzijde	5,2	5,2	5,4	5,3	5,3	5,4	5,3	5,3	5,4	5,2
oostzijde	5,6	5,7	5,5	5,5	5,5	5,2	5,5	5,1	5,2	5,2

De westzijde is zeer uniform, de oostzijde niet. Het verschil tussen de gemiddelden der beide waarden per object met X vormde de correctie voor *alle jaren*. Hierin ligt de fout. Dit verschil is niet constant, maar geeft voor de oostzijde aan, wat in 1956 nog over was van de objectverschillen van de oude proef PO 6. Vóór 1956 waren deze verschillen groter, daarna worden zij kleiner.

Voor het jaar 1956 komt WISSELINK op grond van de gecorrigeerde waarden tot de uitspraak dat vermoedelijk het afoogsten en ook het onderploegen van de stoppelgewassen geen invloed heeft gehad op het humusgehalte. Deze conclusie is niet juist. De onjuistheid zal ook nog blijken uit een ander onderzoek, waarin eveneens een duidelijke beïnvloeding van het humusgehalte door stoppelgewassen en groenbemesting naar voren zal komen.

Een ander punt, dat aandacht verdient is, dat nu reeds onder invloed van een ander bedrijfssysteem dan waaronder deze esgrond is tot stand gekomen, waarbij een daling van het humusgehalte in de bouwvoor optreedt, dit lager is geworden dan dat in de diepere lagen. Zo werd in 1958 bepaald:

8-13 cm	5,31
25-30 cm	5,53
40-45 cm	6,37

Het lijkt op het eerste gezicht niet uitgesloten, dat dit nog invloed heeft op het humusgehalte in de bouwvoor in diep voege, dat, evenals bij dalgronden het geval is er een verrijking in humusgehalte van de bouwvoor optreedt door opploegen van ondergelegen sterker humushoudende lagen, en dat wel speciaal in de het minst met organische stof verrijkte objecten. Men zou zelfs kunnen gaan vermoeden in deze wijze van voorziening met organische stof ook voor het niet naderen tot  $y_m = 0$  bij  $x = 0$  een mogelijke (gehele of gedeeltelijke) verklaring te kunnen vinden. Voor een volledige verklaring daarvan op deze wijze zou het nodig zijn, dat  $x$  zodanig werd verhoogd, dat de lijn  $y_m = 14x + 1,80$  verschoof naar  $y_m = 20x'$ . Uit  $20x' = 14x + 1,80$  volgt, dat bij  $x = 0$  de toevoer van organisch materiaal verhoogd zou moeten worden met 0,09% van het gewicht van de bouwvoor of met 2320 kg per ha. Dit zou, bij een

humusgehalte van 6% in de op te ploegen laag, neerkomen op een jaarlijks inlijven in de bouwvoor van  $100/6 \times 2320 = 39\,000$  kg grond of wel 3 cm. Dit is vanzelfsprekend uitgesloten. Daar het inklinken slechts een kwestie van enkele mm per jaar kan zijn, is dit (mogelijke) feit zelfs geheel te verwaarlozen.

#### 4 STALMESTHOEEVEELHEDEN

In het overzicht van C. MEIJER (28), waarin werd samengevat wat destijds (1941) bekend was uit meerjarige proeven in Nederland over het verloop van humusgehalten van de grond onder invloed van organische bemesting, komen namen naar voren, die in de wereldliteratuur dezelfde klank gekregen zouden hebben als de oude proeven van Rothamsted indien zij slechts waren voortgezet en niet voortijdig beëindigd.

Eén daarvan, waarvan voor de onderscheiden objecten over een voldoende lang tijdsverloop een voldoende aantal humusgehalten wordt vermeld, is het proefveld W.O. 107 bij Gebr. ter Haar te Yhorst. Dit is ook het enige door MEIJER behandelde geval, dat hier verwerkt zal worden, daar in andere gevallen óf het aantal vermelde humusgehalten te gering is, óf onvoldoende gegevens vermeld worden (zo worden steeds de objecten aangeduid als 'stalmest' en 'kunstmest' zonder vermelding van de hoeveelheden).

Het proefveld W.O. 107 werd aangelegd in herfst 1910 op grond die tot op dat moment sedert de ontginning slechts met stalmest was bemest, en wel met potstalmest bestaande uit een mengsel van koe-, paarde- en varkensmest, stro en heideplaggen. De grond is een zandgrond, welke in het begin der negentiger jaren der 19e eeuw werd ontgonnen met een compostgift. Voor de eerste maal werden de humusgehalten bepaald in 1923. De objecten zijn kunstmest, stalmest en  $\frac{1}{2}$  kunstmest +  $\frac{1}{2}$  stalmest. Het is niet meer vast te stellen of zij in aanvoer van rechtstreeks plantenvoedende bestanddelen wel geheel gelijkwaardig waren. Zelfs wat de stalmest betreft is er een thans niet meer uit de weg te ruimen tegenspraak in zoverre MEIJER vermeldt dat 'stalmest' betekent 40 ton goede potstalmest per ha per jaar, terwijl dit volgens STIELTJES (32) bedraagt 60 ton zogenaamde klare koemest d.i. vaste mest + gier zonder strooisel. Wij kennen dus niet nauwkeurig de  $x$  in de drie objecten, maar schatten de aanvoer van wortel- en stoppelresten op 2100 kg per ha per jaar in elk der drie objecten en die voor stalmest op 6300 kg. Stellen wij het bouwvoorgewicht op 1,4 miljoen kg (de grondbewerking was zeer ondiep en de bemonstering ging tot 12 cm bij een hoog humusgehalte), dan vinden wij voor  $x$  voor wortels en stoppels 0,15 en voor de stalmest 0,45, zodat in het stalmestobject  $x = 0,60$  en bij  $\frac{1}{2}$  kunstmest +  $\frac{1}{2}$  stalmest 0,375; dit alles echter in de overtuiging, dat dit een ruwe benadering is.

Aan humusgehalten na de oogst werd gevonden:

	1922	1925	1926	1927	1928	1931	1932	1934	1935	1936
I stalmest	9,6	10,0	9,3	9,5	10,2	9,9	9,0	9,4	9,4	9,7
II $\frac{1}{2}$ km. + $\frac{1}{2}$ strm.	9,2	8,9	8,3	9,3	9,0	9,1	8,9	9,1	8,6	8,7
III kunstmest	8,2	8,8	8,0	7,8	7,9	7,8	8,3	7,3	7,2	7,5

De eerste bepaling geschiedde dus bij  $t = 12$  (eigenlijk was het in het voorjaar 1923). In object I, stalmest, lijkt het humusgehalte stationnair, d.w.z. schommelende om de evenwichtswaarde 9,6.

Daar object I door het vrijwel horizontale verloop en object II door de sterke schommelingen moeilijk te verwerken zijn, is de gebruikelijke methodiek toegepast op respectievelijk I + II + III, II + III en III. Daarvoor wordt gevonden als vereffende waarden:

$t$	12	15	16	17	18	21	22	24	25	26	$y_m$
I + II + III	27,22	26,86	26,74	26,63	26,52	26,19	26,09	25,89	25,79	25,69	20,7
II + III	17,73	17,34	17,21	17,09	16,97	16,62	16,51	16,29	16,19	16,08	10,2
III	8,47	8,21	8,13	8,05	7,97	7,74	7,67	7,53	7,46	7,39	3,7

Door aftrekking ontstaat hieruit per object:

I	9,49	9,52	9,53	9,54	9,55	9,57	9,58	9,60	9,60	9,61	10,5
II	9,26	9,13	9,08	9,04	9,00	8,88	8,84	8,76	8,73	8,69	6,5
III	8,47	8,21	8,13	8,05	7,97	7,74	7,67	7,53	7,46	7,39	3,7

Deze vereffende waarden op dezelfde wijze behandeld leveren op voor  $y_m$ : I 10,35, II 6,65, III 3,54. Het blijkt dus, dat  $y_m$  in object II ongeveer het gemiddelde is van die bij I en III, of met andere woorden, dat er wederom additiviteit optreedt. Door zuivere additiviteit aan te nemen kan bewerkt worden volgens de methode van de vereffening van indirecte waarnemingen van twee variabelen (VAN UVEN), uitgaande van de waarnemingsvergelijkingen.

$$\begin{aligned}x + y &= 10,35 \\ \frac{1}{2}x + y &= 6,65 \\ y &= 3,54\end{aligned}$$

De uitkomst is  $x = 6,81 \pm 0,35$  en  $y = 3,34 \pm 0,18$ . De  $y_m$ 's zijn dus resp.: I 10,15, II 6,75 en III 3,35. Voor de bovengenoemde sommen wordt dit I + II + III = 20,25; II + III = 10,10 en III = 3,35.

Met de laatste wordt nu weer het ruwe materiaal behandeld, om de  $m$  ( $= -0,4343 K_2$ ) te bepalen. Deze blijken daarbij de volgende waarden te bezitten:

$$\begin{aligned}\text{I} + \text{II} + \text{III} & -0,007664 \pm 0,003119 \\ \text{II} + \text{III} & -0,005272 \pm 0,001187 \\ \text{III} & -0,007176 \pm 0,002368\end{aligned}$$

Zij zijn dus niet wezenlijk van elkaar verschillend en er is ook geen gang in aanwezig voor wat betreft het aandeel aan stalmest of kunstmest. Zij kunnen dus aan elkaar gelijkgesteld worden. Hiervoor wordt gekozen het gewogen gemiddelde, waarbij als gewichten gelden de getallen 3, 2 en 1 (de aantallen per groep). Het gemiddelde bedraagt dan  $-0,006785$ . Hieruit volgt, dat  $K_2$  voor het gehele materiaal wordt 0,01562.

Met de thans bekende  $y_m$ 's en  $m$  (dus  $K_2$ ) moet nu nog  $y_0$  worden uitgewerkt met de formule:

$$y_0 = y \cdot 10^{-mt} + y_m (1 - 10^{-mt}).$$

Deze formule levert bij elke waarneming een waarde voor  $y_0$ . Deze bewerking werd als steeds uitgevoerd voor de combinaties III + II + I, III + II en III, waarvoor gevonden werd:

$$\begin{array}{rcl} \text{III} + \text{II} + \text{I} & 9,476 \pm 1,423 \\ \text{III} + \text{II} & 9,685 \pm 0,819 \\ \text{III} & 9,457 \pm 0,630 \end{array}$$

Deze verschillen zijn niet betrouwbaar, zodat voor alle objecten eenzelfde  $y_0$  mag worden aangenomen. Hiervoor kiezen wij weer het gewogen gemiddelde. Dit bedraagt 9,54.

Hiermede zijn de drie parameters bekend en kunnen de definitieve vereffende waarden worden berekend. Deze zijn

$t$	12	15	16	17	18	21	22	24	25	26
I	9,64	9,67	9,67	9,68	9,69	9,71	9,72	9,73	9,74	9,74
II	9,06	8,96	8,92	8,89	8,86	8,76	8,73	8,67	8,64	8,61
III	8,48	8,25	8,17	8,09	8,02	7,81	7,74	7,61	7,54	7,47

De afwijkingen met de gevonden waarden zijn dus

I	-0,28	+0,55	-0,17	-0,29	-0,12	-0,01	+0,56	-0,31	-0,34	+0,03
II	+0,14	-0,06	-0,62	+0,41	+0,14	+0,34	+0,17	+0,34	-0,04	-0,09
III	-0,04	+0,33	-0,37	-0,18	+0,51	+0,19	-0,72	-0,33	-0,34	-0,04
	-0,18	+0,82	-1,16	-0,06	+0,53	+0,52	+0,01	-0,30	-0,72	-0,10

De totale som der afwijkingen is -0,41, of per waarneming -0,014, dus zeer gering.

Zou de in de aanhef gemaakte schattingswaarde van  $x$  voor stalmest (0,45) juist zijn, dan volgt hieruit en uit de  $y_m$  voor stalmest (6,81), dat  $y_m = 15x$ . Zou dit ook opgaan voor het object kunstmest met alleen voorziening met organische stof door wortels en stoppels, dan is (daar hier  $x = 0,15$ )  $y_m = 15 \times 0,15 = 2,25$ . Daar hier gevonden werd een  $y_m = 3,34$  is er dus een  $y_t = 1,10$ .

Voor  $y_m$  volgt dus de formule  $y_m = 15x + 1,1$ .

Bij  $y_m = 4$  (het gemiddelde humusgehalte in Nederland) is  $x = 0,19$ , dus  $y_m = 21x$ . Er wordt dus weer gevonden, dat in de buurt van het voor Nederland gemiddelde humusgehalte  $y_m = \pm 20x$ .

De globale juistheid van de uitkomsten is getoetst door het proefveld in 1961 op te sporen en te bemonsteren. Het veld was sedert de opheffing van het proefveld als praktijkperceel uniform behandeld en kreeg een toevoer van organische stof, die iets groter was dan die in object II, n.l. jaarlijks 20 à 25 ton stalmest, afgewisseld met enkele jaren kunstweide en enkele malen groenbemestingsgewassen. Op grond hiervan werd  $x$  geschat op 0,40 (of 7000 kg gemiddeld per jaar).

De humusgehalten in 1941, bij het beëindigen van de proef, zouden met de gevonden parameters extrapolerende bedragen moeten hebben resp. 9,77, 8,37 en 7,16. Met de nieuwe  $x$  zou in alle drie objecten de  $y_m$  moeten zijn  $15 \times 0,4 + 1,1 = 7,1$ . Hieruit volgt aan de hand van de humusformule, dat bij  $y_0 =$  resp. 9,77, 8,37 en 7,16,  $K_s = 0,01562$ ,  $t = 20$  en  $y_m = 7,1$ , de  $y$  in de drie gewezen objecten in 1961 zou moeten bedragen resp. 9,1, 8,1 en 7,1. Gevonden werd (twee monsters per object):

I	9,0 en 9,2, gemiddeld 9,1
II	7,9 en 8,3, gemiddeld 8,1
III	7,4 en 7,5, gemiddeld 7,45

De overeenkomst is treffend, wat het vertrouwen in de methode in het algemeen en in de voor deze proef noodzakelijk te maken veronderstellingen wettigt.

## 5 HET ONDERZOEK VAN ORGANISCHE BEMESTING IN BEDRIJFSVERBAND

Een volgend voorbeeld is ontleend aan het werk van de voormalige Bodemvruchtbaarheidscommissie en thans nog voortgezet onder de naam: Studie van organische bemesting in bedrijfsverband. Dit voorbeeld toont aan, wat de in dit kader aangelegde proefpercelen en -bedrijven op de duur kunnen opleveren ondanks hun proefveldtechnisch zwakke opzet. Als voorbeeld is gekozen proef NGr. 1252 (H. Hoteboom, Drieborg), omdat hier de resultaten reeds sprekend zijn; in het algemeen is dat na een tienjarige proefduur niet het geval. De grond is een zware klei.

Deze proef bestaat uit een object *geen* organische bemesting (I) en een ander object *met* organische bemesting (II). Object II kreeg van februari 1949 t/m januari 1959 in totaal per ha 215 ton stalmest (waarvan in feite de eerste gift in februari 1949 bestond uit 50 ton paardemest). Deze mest bevatte  $\pm 32$  ton droge organische stof (d.o.s.)/ha. Verder werd in 1950 (een matig gewas) hopperupsklaver verbouwd – geschat op 5 ton d.o.s./ha – en werden in 1952 loof en koppen van suikerbieten ondergeploegd – idem 6 ton d.o.s. –, terwijl in 1955 zomertarwe werd verbouwd omdat het ingezaaide koolzaad (in tegenstelling met object I) mislukte, waarvan de meerdere opbrengst aan wortel- en stoppelresten geschat wordt op 1 ton d.o.s./ha. Tezamen kan dus wat aan II meer aan organisch materiaal ten goede kwam dan aan I geschat worden op 44 ton of wel 4000 kg/ha/jaar.

De vruchtopvolging in de betreffende jaren was zaadbieten-wintertarwe-haver-suikerbieten-erwten-karwij-koolzaad-zomertarwe (zie boven) -wintergerst-haver-wintertarwe-haver. De aanvoer van wortel- en stoppelresten kan worden geschat op 2500 kg/ha/jaar, zodat de toevoer aan organisch materiaal in object II komt te staan op 6500 kg/ha/jaar.

Indien het bouwvoorgewicht op deze zware grond met een bewerkingdiepte van 12 à 15 cm 1,5 mil. kg bedraagt is  $x$  gelijk aan 0,167 resp. 0,433.

De humusgehalten verliepen zoals bovenaan pag. 46 is aangegeven. Object I is kennelijk in evenwicht op een niveau van 3,35.



	I	II
mei 1949	3,5	3,5
okt. 1950	3,4	3,8
sept. 1951	3,4	4,0
nov. 1952	3,1	3,5
dec. 1954	3,3	3,9
okt. 1955	3,2	4,5
sept. 1956	3,4	4,5
jan. 1958	3,5	4,3
sept. 1958	3,4	4,4
okt. 1959	3,3	4,4
gem.	3,35	

Vereffend werden achtereenvolgens I + II en I. Na de volledige bewerking werd verkregen

	$y_0$	$y_m$	$m$
I + II	6,86	11,30	-0,01021
II	3,37	7,90	-0,01055
I	3,49	3,40	

De  $y_m$  is in object II 7,90 en in object I 3,40 (dat is praktisch gelijk aan het gevonden gemiddelde der  $y$ 's).

De  $m$  is in beide gevallen zo goed als gelijk en wordt voor het gehele materiaal gesteld op  $-(2 \times 0,01021 + 0,01055) : 3 = -0,01032$ . Dit brengt  $K_s$  op 0,02377.

Ook  $y_0$  is vrijwel gelijk, en wordt gesteld op 3,40. Hiermede worden de vereffende waarden:

$t$	0	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
I	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
II	3,40	3,51	3,61	3,71	3,81	4,00	4,09	4,19	4,27	4,35	4,43

De afwijkingen zijn:

I	-0,10	—	—	+0,30	+0,10	+0,20	—	-0,10	—	+0,10
II	+0,01	-0,19	-0,29	+0,31	+0,10	-0,41	-0,32	-0,03	-0,05	+0,03
	-0,09	-0,19	-0,29	+0,61	+0,20	-0,21	-0,32	-0,13	-0,05	+0,13

De som der afwijkingen is -0,34 of per waarneming -0,017 dus wederom te verwaarlozen klein.

De beide  $y_m$ 's, uitgezet tegen  $x$  vormen, indien wederom een rechtlijnig verband wordt

aangenomen, de lijn  $y_m = 16,94x + 0,59$ . Ook hier is een hoeveelheid inerte humus aanwezig.

De als vuistregel gehanteerde formule  $y_m = 20x$  treedt op bij  $x = 0,19$ , waarbij  $y_m = 3,8$ . Wederom komen wij daarbij zeer dicht bij het doorsneehumusgehalte van 4.

In object II zal het verloop der humusgehalten met tienjarige intervallen zijn als volgt:

$t$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	300
$y$	3,40	4,35	5,10	5,69	6,16	6,53	6,82	7,05	7,23	7,37	7,48	7,77	7,86	7,90

## 6 EEN PRAKTIJKVOORBEELD

Een ander geval, het bedrijf van Bom te Colijnsplaat, dat op zichzelf wellicht te eenvoudig van probleemstelling is om in een studie als de onderhavige te worden behandeld wordt niettemin hier weergegeven, en wel om de beide volgende redenen:

1e. er is reeds over gepubliceerd, (3) en (25), in welke publikaties nog een vroegere minder nauwkeurige en ten dele zelfs onjuiste bewerkingsmethodiek werd toegepast, waardoor een kleine correctie op de daar gevonden parameters noodzakelijk bleek;

2e. dit geval is een bevestiging maar thans op een zware grond van het ook bij P.O. 168 reeds gevonden feit, dat groenbemesting leidt tot humusverhoging. Dit is in tegenpraak met de vaak geuite – hoewel nergens bewezen – bewering, dat groenbemesting *niet* leidt tot humusophoping, maar zelfs tot versterkte afbraak.

De grond is een zavel met 20–25 % afslibbaar, ca. 6 %  $\text{CaCO}_3$  en een bouwvoordiepte van 20 cm. Het bedrijf is ca. 70 ha groot. Dit bedrijf is overgegaan tot een zo intensief mogelijke voorziening met groenbemestingsgewassen (zie (3) voor details). Voor de toevoer van organische stof heeft BUWALDA berekend 54 000 kg in 15 jaar of 3600 kg per jaar. Het bouwvoorgewicht is volgens BUWALDA 3 mil kg, zodat  $x = 0,12$ .

Er is dus slechts 1 object en geen vergelijking tussen meer objecten. Wel is er verschil in humusgehalte tussen groepen van percelen, welk verschil aanleiding geeft tot gescheiden behandeling van deze groepen. Het bedrijf is n.l. verdeeld in 8 percelen (althans het gedeelte van het bedrijf, dat in deze studie is betrokken), welke de volgende humusgehalten hebben opgeleverd, gegroepeerd naar uniformiteit in de humusgehalten.

Perceel	1943	1949	1953	1958
1	1,8	1,9	2,0	2,1
3	1,7	1,9	1,8	2,1
6	1,6	1,9	2,0	2,0
8	1,8	1,9	2,0	2,1
2	1,6	1,7	1,7	1,9
4	1,6	2,0	1,7	1,9
7	1,6	1,8	1,6	2,0
5	1,4	1,7	1,6	1,8

Elk der drie hier onderscheiden groepen werd volgens de normale procedure behandeld door te zoeken naar de het best bij het voorhanden materiaal passende  $y_m$ . Deze bleek te zijn resp. 2,79—3,13—3,91. De  $m$  ( $= -0,4343 K_2$ ) hierbij behorende was

$$\begin{array}{ll} a \text{ 1-3-6-8} & -0,01122 \pm 0,00146 \\ b \text{ 2-4-7} & -0,00572 \pm 0,00216 \\ c \text{ 5} & -0,00440 \pm 0,00177 \end{array}$$

Hieruit volgt, dat  $a - b = 0,00550 \pm 0,00261$  en  $a - c = 0,00682 \pm 0,00226$ . Dit wil zeggen, dat  $a - b$  niet en  $a - c$  wel betrouwbaar van 0 afwijkend is, terwijl  $b - c$  duidelijk niet significant is. Er wordt nu aangenomen, dat  $m$  in alle gevallen gelijk is, en wel gelijk aan  $(4m_a + 3m_b + m_c) : 8$ . Dit levert op als gemeenschappelijke  $m$  de waarde  $-0,00830$ .

De volgende stap is, door verandering van  $y_m$ , na te gaan bij welke  $y_m$  deze  $m$  optreedt. Dit is bij 3,10 — 3,04 — 2,93. Deze getallen zijn nu zeer dicht bij elkaar gekomen, zodat ook zij gelijk gesteld worden. Hun op dezelfde wijze als boven berekend gewogen gemiddelde bedraagt 3,06.

Met  $y_m = 3,06$  en  $m = -0,00830$  kan nu  $y_0$  voor elke waarneming berekend worden met behulp van de formule  $y_0 = y \cdot 10^{-mt} + y_m (1 - 10^{-mt})$ . Dit levert de volgende  $y_0$  waarden op:

$t$	0	6	10	15	gem.
1	1,8	1,76	1,78	1,78	1,78
3	1,7	1,76	1,54	1,78	1,69
6	1,6	1,76	1,78	1,65	1,70
8	1,8	1,76	1,78	1,78	1,78
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,73	1,76	1,72	1,75	1,74
2	1,6	1,54	1,41	1,52	1,52
4	1,6	1,87	1,41	1,52	1,60
7	1,6	1,65	1,29	1,65	1,55
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,6	1,68	1,37	1,56	1,55
5	1,4	1,54	1,29	1,38	1,40

Hierin valt beslist geen verband met de grootte van  $t$  te onderkennen. Was dit wel zo, dan waren of de gebruikte vereffeningsmethoden (en de daaraan ten grondslag liggende formules en praemissen) of de gebruikte waarden voor de parameters onjuist. Wij aanvaarden dus nu de gevonden  $y_0$ 's als 'beste waarden' gegroepeerd als volgt:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ en } 8 & 1,78 \\ 3 \text{ en } 6 & 1,70 \\ 4 & 1,60 \\ 2 \text{ en } 7 & 1,53 \\ 5 & 1,40 \end{array}$$

Hiermede kunnen nu de vereffende waarden worden opgesteld, daar alle drie de parameters thans bekend zijn. Deze zijn:

$t$	0	6	10	15
1 en 8	1,78	1,92	2,00	2,10
3 en 6	1,70	1,85	1,94	2,04
4	1,60	1,76	1,85	1,96
2 en 7	1,53	1,70	1,80	1,91
5	1,40	1,61	1,69	1,84

Dit geeft de volgende correcties, of  $y$  berekend —  $y$  gevonden:

1	—0,02	+0,02		
2	—0,07		+0,10	+0,01
3		—0,05	+0,14	—0,06
4		—0,24	+0,15	+0,06
5		—0,09	+0,11	+0,04
6	+0,10	—0,05	—0,06	+0,04
7	—0,07	—0,10	+0,20	—0,09
8	—0,02	+0,02		
	—0,08	—0,49	+0,64	0,00 totaal +0,07

Het gemiddelde der afwijkingen is nog niet 0,01, zodat het materiaal goed beschreven wordt. De absolute som der afwijkingen geeft voor het gemiddelde daarvan 0,06, wat eveneens gering is.

Met de drie parameters extrapolerende, wordt voor de percelen met de hoogste en de laagste  $y_0$  gevonden:

$t$	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1 en 8	1,78	2,19	2,34	2,46	2,57	2,65	2,72	2,78	2,83	2,88	2,99	3,04
5	1,40	1,93	2,12	2,29	2,42	2,53	2,62	2,70	2,76	2,81	2,97	3,02

De overige objecten liggen hier tussen.

Uit  $m = -0,00830$  volgt, dat  $K_2 = 0,0192$  en daar  $y_m = K_1x/K_2$ , is  $K_1x = K_2 \times y_m = 0,05884$ . Hieruit is weer af te leiden, dat  $K_1 = 0,4903$ .

Het quotiënt der beide coëfficiënten is 25,5. De humusvoorraad in de uiteindelijke evenwichtstoestand is dus  $25,5 \times$  de gemiddelde jaarlijkse aanvoer van organische stof.

Daar hier slechts één dosering gegeven is, is niet uit te maken of er ook inerte humus aanwezig is.

## 7 DIRECTE BEPALING VAN $K_1$

Hoewel  $K_1$  een essentiële rol speelt bij de ontwikkeling van de humusformule kon hij tot dusverre nooit zelf bepaald worden, maar ontstond hij als rekenresultaat uit

$K_2$  en  $y_m$ . Het is echter mogelijk  $K_1$  rechtstreeks te bepalen en er een beeld van te krijgen hoe  $K_1$  in de tijd tot stand komt, of m.a.w. in welk tempo de humificatie verloopt.

Een voorbeeld hiervan levert de potproef VPr. 315.<sup>1</sup> In dit onderzoek waren 5 dalgronden betrokken van verschillende ouderdom sedert de ontginning, volgens deze ouderdom genummerd van I t/m V, waarbij I het langst en V het kortst geleden was ontgonnen. De gronden I t/m V zijn achtereenvolgens afkomstig van Pr. 19, Pr. 32, Pr. 1051, Pr. 1680 en IB. 4. Pr. 19 ligt op de proefboerderij te Borgercompagnie en grondsoort I behoort dus tot de oude Veenkoloniën; Pr. 32 ligt op de proefboerderij te Emmercompasuum, Pr. 1051 op een perceel te Nieuw Weerdinge, Pr. 1680 op een perceel te Bargercompasuum en IB. 4 op een perceel te Klazienaveen. De grondsoorten II, III en IV behoren tot de jongere Veenkoloniën en grondsoort V is afkomstig van een pas ontgonnen perceel.

Behalve de verschillen in tijdstip van ontginning, waren er ook verschillen in het humusgehalte en in het daarmee verband houdend vochthoudend vermogen van de grondsoorten. Bij de aanvang van de proef zijn deze verschillen vastgesteld.

Aan gelijke volumina grond werden achtereenvolgens 0, 250, 500, 750 en 1000 g stalmest (genummerd 1-5) per Mitscherlichpot toegediend. Omdat er verschillen waren tussen de volumengewichten van de grondsoorten, terwijl bij de menging van gelijke volumina werd uitgegaan, moest voor elke grondsoort een verschillende basishoeveelheid in kg genomen worden (per grondsoort variërend van 5,6 tot 6,6 kg). De stal-mesttrappen werden in 4-voud aangebracht. De proef bestond dus uit 25 objecten en 100 potten. De stalmest, die vooraf in een wormmolen fijngemalen was, werd na het afwegen aan de afgewogen hoeveelheid grond toegevoegd, waarna met de hand werd gemengd. Vervolgens werd het geheel door een zeef met een maaswijdte van 7 mm gewreven en daarna nog eens gemengd. De mengsels werden tenslotte in de potten gedaan. Daar aan dezelfde hoeveelheden grond steeds grotere hoeveelheden stalmest werden gegeven en alle potten tot op dezelfde hoogte gevuld moesten worden (2 cm onder de rand) moest van de mengsels bij het klimmen van de stal-mesthoeveelheden een steeds grotere hoeveelheid worden weggegooid. Het gevolg van deze handelwijze was, dat de gewichtshoeveelheid van de mengsels in de potten daalde. De potten, die leeg allemaal even zwaar waren (1200 g), zijn na het vullen gewogen en het gewicht is afgerond op een veelvoud van 100 g. De potten werden onder een plastic doek in de buitenlucht geplaatst.

Van de vele bemonsteringen ter bepaling van het gloeiverlies heeft de eerste plaats gehad bij de aanleg van de proef. In deze eerste monsters is behalve het humusgehalte ook het vochtgehalte en de watercapaciteit van de grond bepaald. De beide laatste bepalingen hadden ten doel om zo gauw mogelijk na de aanleg de grond in elke pot op 60% van de watercapaciteit aan te brengen.

---

<sup>1</sup> Deze proef werd genomen in samenwerking met drs. VAN DIJK, onder wiens leiding ook alle analyses werden verricht.

Gedurende de hele duur van de proef is de watercapaciteit bij benadering op 60% gehouden, door het door verdamping optredende gewichtsverlies weer aan te vullen. Er werd daarbij steeds rekening gehouden met het grondverlies ontstaan door de bemonstering. De watercapaciteit is op 3 maart 1959 nog eens bepaald. Bij 60% bevatten de objecten ongelijke vochtgehalten.

De proef is aangelegd op 4 mei 1958. De bemonsteringen hebben plaats gehad op 4 mei 1958 en vervolgens steeds 1 maand later, tot en met december 1959, met uitzondering van de maanden januari en februari 1959, toen de potten vanwege de vorst binnenshuis opgestapeld waren.

Na elke bemonstering, waarbij ongeveer 20 g grond per pot werd genomen uit een gemengde hoeveelheid van 10 steken per pot, werd de grond in de pot met een spatel tot op de bodem losgewerkt en daarna weer aangedrukt tot op een voor alle potten ongeveer gelijke hoogte.

De organische stof werd bepaald door middel van de gloeiverliesmethode en het percentage is berekend op de droge stof. Steeds werd per pot 1 monster genomen, dat in enkelvoud werd geanalyseerd.

Het gehalte aan organische stof in de stalmest was 13%. De hoeveelheid organische stof in de stalmest bedroeg in % van de totale hoeveelheid organische stof in de mengsels:

	I	II	III	IV	V
1	0	0	0	0	0
2	6	6	7	9	12
3	11	11	13	16	21
4	16	16	19	22	28
5	20	20	24	28	33

De stalmestaandelen in de organische stof op trap 5 liepen dus van 20% (in I en II) tot 33% (in V).

Begonnen werd met de verwerking over de uitkomsten van het 2de jaar, daar dit in tegenstelling met het eerste jaar niet begon met een hoeveelheid vers organisch materiaal, dat aan snelle afbraak onderhevig is. De algemene formule voor het verloop van humusgehalten wordt daardoor vereenvoudigd tot

$$\log y = -0,4343 K_2 t + \log y_0$$

(Strikt genomen had in plaats van  $y$  en  $y_0$  moeten staan  $y - y_t$  en  $y_0 - y_t$ . In feite is dus gekozen  $y_t = 0$ . Dit kan de berekende afbraak sterker doen schijnen dan hij is). Hiermede werden door toepassing van de daarvoor geldende vereffeningsmethode uitkomsten verkregen voor de richtingstangenten ( $m = -0,4343 K_2$ ), waarvan er slechts 1 (van de 25) n.l. die van II 5 significant van 0 afweek. Zij kunnen dus gevoegelijk alle als horizontale lijnen worden beschouwd. Dit betekent, dat als er in het 2de jaar afbraak was, deze dan zo zwak was, dat hij op deze wijze niet viel aan te tonen.

Wij kunnen dus de gemiddelden over het 2de jaar aanhouden als de waarden waarheen de gehalten zich gedurende het 1ste jaar bewegen.

Deze gemiddelden zijn:

	I	II	III	IV	V
1	10,49	12,20	10,06	7,21	4,37
2	10,82	12,67	10,61	7,51	4,73
3	11,38	13,18	10,94	7,65	4,99
4	11,45	13,54	11,24	7,91	5,23
5	11,74	14,04	11,71	8,35	5,49

Deze getallen maken de indruk, dat per object tussen de stalmesttrappen gelijke intervallen bestaan, of m.a.w. dat de gemiddelde gehalten uitgezet tegen de stalmesthoeveelheid per object een rechte lijn vormen. Rechthoekige vereffening per object leverde betrouwbaar de volgende waarden, welke slechts weinig van de bovenstaande verschillen:

	I	II	III	IV	V
1	10,55	12,22	10,12	7,19	4,41
2	10,86	12,67 <sup>s</sup>	10,51	7,46	4,68 <sup>s</sup>
3	11,18	13,13	10,90	7,73	4,96
4	11,49	13,58 <sup>s</sup>	11,29	8,00	5,23 <sup>s</sup>
5	11,80	14,04	11,68	8,27	5,51

Met deze waarden wordt nu verder gewerkt.

Hierna zijn de humusgehalten in het 1e jaar uitgezet zoals in fig. 2 is aangegeven voor grondsoort V. Daarna zijn voor stalmesttrap 1 horizontale rechte lijnen aangebracht ter hoogte van de gemiddelde humusgehalten over het 2de jaar, zoals deze zijn weergegeven in de laatste tabel. In geen enkel object is een aanwijzing te vinden voor de aanname, dat er een afbraak van de dalgrondhumus heeft plaats gehad. Voor trap 1 worden dus in alle series horizontale lijnen over de gehele proefduur aangenomen.

Daarna werden de overige objecten op het oog vereffend, waarbij rekening te houden viel met de omstandigheden:

- dat in de uitgangstoestand (de 1e bepaling) de intervallen gelijk moesten zijn.
- dat ook in het tweede jaar de intervallen gelijk waren.

Op grond hiervan werden de getrokken lijnen aangebracht als, naar gemeend werd, de beste beschrijving van het gehele materiaal.

De lijnen werden recht getrokken daar geen dwingende reden gevonden werd andere b.v. kromme lijnen te kiezen. Uit deze lijnen blijkt, dat in alle objecten en op alle trappen van de organische stof uit de stalmest 42% is afgebroken of m.a.w. dat  $K_1 = 0,58$  in alle objecten.

FIG. 2. Grondsoort V, humusgehalten 1958

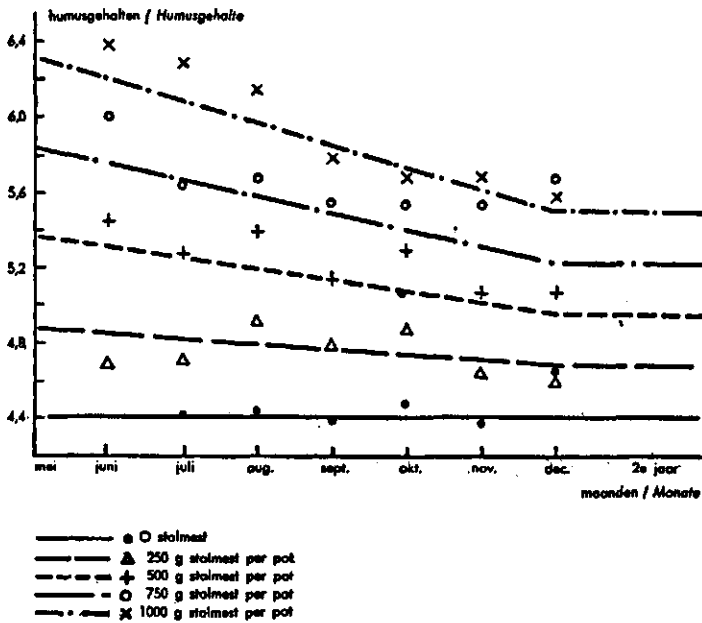


FIG. 2. Bodentyp V, Humusgehalte in 1958

Het is gewenst enigszins georiënteerd te raken aangaande de betrouwbaarheid van de te trekken conclusies. Hiertoe worden de afwijkingen van de punten tot de vereffeninglijnen over het 1e jaar, vergeleken met die over het 2de. Het valt n.l. niet te ontkennen, dat de vereffening over het 1e jaar speculatiever aandoet dan die over 1959. Over het laatste jaar waren de verkregen uitkomsten zeer betrouwbaar. Indien die over 1958 dus geen grotere afwijkingen te zien geven dan die over 1959 dan winnen de lijnen over 1958 aan vertrouwen.

De som der afwijkingen en de standaardafwijking bedroegen in beide jaren:

	1958	1959	Totaal
Som der afwijkingen	+0,014	—0,003	+0,004
Standaardafwijking	0,248	0,211	0,228

Inderdaad is het 1e jaar wat onzekerder dan het 2de. Gezien echter het feit, dat de zorgvuldigheid van bemonstering en analyse gaandeweg werden verbeterd, is het overigens niet zeer grote verschil niet verontrustend en zeker niet van voldoende grootte om op die grond de toegepaste vereffening als onaanvaardbaar te verwerpen.

De standaardafwijking is zeer groot. Hij geeft aan, dat de gevonden humusgehalten in het algemeen tot 0,7 eenheid van humus naar boven en naar beneden van de ver-



effende waarden afwijken (in feite zijn er 3 van de 450 welke sterker afwijken, n.l.  $-0,77$ ,  $+0,88$  en  $+0,92$ ). Daar de gehalten gemiddelden zijn van 4 gehalten, bepaald aan 4 onafhankelijke monsters in enkelvoud geanalyseerd, is de standaardafwijking van de enkele waarneming 0,456 (met afwijkingen gaande tot  $\pm 1,37$ ). Het is duidelijk, dat dit toch met grote zorg uitgevoerde onderzoek nog vrij grof is geweest. Desondanks kan de uitgevoerde vereffening over het 1e jaar beschouwd worden als een voorlopig bevredigende beschrijving van het materiaal. Mogelijk echter is deze geglobaliseerd en zou een nauwkeuriger onderzoek b.v. kunnen aantonen, dat de lijnen niet precies recht moeten zijn, maar zwak gebogen.

Behalve toevalsafwijkingen zijn er ook systematische afwijkingen per maand. Deze gemiddelden over 25 bepalingen zijn belast met een standaardafwijking, groot 0,0456 zodat afwijkingen tot  $\pm 0,1368$  te verwachten zijn. Sterker afwijkend zijn:

mei 1958	+0,184
aug. 1958	+0,143
aug. 1959	-0,239
dec. 1959	+0,180

Er zijn dus per analysedatum niveauverschillen: in een bepaalde maand kan het gemiddelde niveau 0,4 eenheid van humus hoger uitvallen dan in een andere. Dit maakt het vaststellen van subtiele verschillen uiteraard moeilijk.

De objecten en de series vertonen zulke systematische verschillen niet, noch in 1958 noch in 1959. In dit opzicht is de vereffening dus wel geslaagd.

De conclusies uit dit onderzoek kunnen als volgt geformuleerd worden:

De dalgrondhumus zonder stalmest werd in 2 jaar niet aantoonbaar afgebroken. Van de stalmest werd in alle hoeveelheden en bij alle gronden hetzelfde percentage van 42% van de organische stof afgebroken. Deze afbraak voltrok zich in alle objecten in 7 maanden volgens rechte lijnen, althans kon uit het materiaal niet geconcludeerd worden dat deze periode en deze rechtlijnigheid in enkele of in alle gevallen niet juist waren. Niets wees er op, dat de stalmest invloed had op de aantastbaarheid van de dalgrondhumus. Mocht dit laatste toch het geval zijn, dan moet er evenveel meer van de stalmest overgebleven zijn als er van de humus is afgebroken. Dit laatste zou alleen te beoordelen zijn aan de hand van de kennis van de eigenschappen van de humus in het 2de jaar. Ook van de uit stalmest overblijvende humus werd in het 2de jaar niets aantoonbaar afgebroken, althans bleef de som van de dalgrondhumus en stalmest-humus constant.

Als aanvulling hierop zij nog vermeld een gelijksoortig onderzoek met laagveen (2) van BINGEMAN c.s.

Toegediend werd organisch materiaal, C-14 bevattende, zodat bij de CO<sub>2</sub> ontwikkeling de C uit de grond en die uit de toevoeging gescheiden konden worden bepaald.

Onderzocht werden:

- 1 luzerne
- 2 het onoplosbaar gedeelte van luzerne
- 3 glucose, voorstellende het oplosbare gedeelte.

In tegenstelling tot de conclusie van BINGEMAN zelf blijkt, dat uit het materiaal betrouwbaar is vast te stellen, dat glucose invloed had op de snelheid van afbraak van de bodemhumus, voorts dat de glucose snel en bijna volledig werd afgebroken.

Het onoplosbare gedeelte van de luzerne (in 1 en 2) tastte de bodemhumus wel aan, het sterkst in de eerste weken na toediening. Na 40 dagen echter keert dit om en is de afbraak van bodemhumus geringer dan in het 0-object. In totaal was er na 70 dagen een aanzienlijke winst, doordat er meer van de luzerne overbleef dan er van de bodemhumus onder invloed van luzerne werd afgebroken en door de omkering van het effect van de afbraak. De winst na 70 dagen bedroeg 36% van de toegediende C.

Object 1, luzerne in zijn geheel, is ook in de resultaten een combinatie van 2 en 3.

De beschreven effecten van BINGEMAN zouden slechts van belang zijn, als daardoor een humus van andere geaardheid zou ontstaan. Dit is wel waard onderzocht te worden. Zonder deze kennis is het gerechtvaardigd door te gaan met het weergeven van de humusgehalten zonder meer.

Ten aanzien van de eigen potproef valt nog het volgende op te merken.

De  $K_1$  is hoog. Voor  $K_2$  is in feite gekomen tot  $K_2 = 0$ , daar er gedurende 2 jaar voor de dalgrondhumus alleen, en gedurende het laatste jaar voor de dalgrondhumus verrijkt met humus ontstaan uit de het jaar tevoren bijgemengde stalmest, geen afbraak kon worden aangetoond. Dit moet evenwel worden toegeschreven aan de te geringe gevoeligheid van de bepaling. Het hoogste humusgehalte in de grond zonder stalmest is 12,2. Bij een  $K_2 = 0,03$  (waarbij  $K_1 : K_2 = 20$ ), dus hoog, wordt er in 2 jaar afgebroken 0,7% humus; dit is juist  $3 \times$  de standaardafwijking of m.a.w. alle waarnemingen vallen binnen het spreidingsgebied. Het hoogste gehalte in het 2e jaar is 14; hiervan wordt gedurende het 2e jaar afgebroken 0,4% humus; hier geldt hetzelfde dus nog in sterkere mate. Om de helling van de vereffende lijn ( $m = -0,4343 \times 0,03 = -0,013$ ) betrouwbaar te kunnen vaststellen, had het onderzoek met meer herhalingen moeten zijn uitgevoerd en/of zou de humusbepaling betrouwbaarder moeten zijn.

De feiten wijzen evenwel in die richting, dat de snelheid van de afbraak van de bodemhumus door het toevoegen van organisch materiaal zeker niet in sterke mate wordt veranderd, en dat na de humificatie van dat materiaal er humus uit ontstaat, die niet op gemakkelijk aantoonbare wijze in andere mate afbreekbaar is dan de bodemhumus.

Hierin ligt een bewijs voor de juistheid – zij het mogelijk bij benadering – voor de steeds aangenomen additiviteit.

In deze proef is dus aangetoond, dat het mogelijk is  $K_1$  rechtstreeks te bepalen en hem zelfs zijn werking in de tijd te zien voltrekken. Enige kennis hieromtrent is dan ook wel gewenst, daar in de meeste gevallen  $K_1$  een wat hypothetische grootheid is, welke wordt afgeleid uit de andere parameters, een soort sluitpost.

## 8 BESPREKING

In alle behandelde gevallen is gebleken, dat een waarnemingsmateriaal met de ontwikkelde theorie goed beschreven wordt, en dat in een enkel geval, waar de voorspelbaarheid kon worden nagegaan, ook deze goed bleek te voldoen.

De theorie met de eraan ten grondslag liggende praemissen mag dus als in hoofdzaak juist worden beschouwd. Het is zeker, dat er thans een beter fundament aan gegeven is dan door HÉNIN-DUPUIS werd gedaan.

Er is evenwel een complicatie bij gekomen in de vorm van  $y_4$ , die naar voren kwam overal waar zulks door de aard van het materiaal mogelijk was. Het karakter van  $y_4$  is nog niet bekend, daar  $y_4$  slechts bestaat als rekenresultaat en nog niet getracht is  $y_4$  te isoleren of rechtstreeks te bepalen.

Het is denkbaar, dat  $y_4$  niet overal hetzelfde karakter zal hebben, b.v. in klei anders dan in zand. Slechts in één geval is tot nu toe geprobeerd – zij het eveneens indirect – meer omtrent  $y_4$  te weten te komen. Dit betreft de in de derde paragraaf behandelde proef PO. 168, op zandgrond en meer in het bijzonder een oude esgrond. Het zal blijken, dat het van belang is, dit nadrukkelijk te vermelden, daar dit waarschijnlijk invloed zal hebben op de grootte en de aard van  $y_4$ .

Van de 10 objecten van PO. 168 werden in najaar 1957 grondmonsters genomen. Hierin werd door drs. VAN DIJK, verbonden aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid bepaald het gehalte aan elementaire koolstof ( $C_4$  elem.). De gevonden waarden uitgezet tegen de humusgehalten berekend met de in paragraaf 3 gevonden waarden voor de parameters geven het volgende beeld te zien.

Object	Humus- gehalte 1957	Gehalte $C_4$ elem.	% C in humus	Idem na vereffe- ning	Hieruit berekend gehalte aan $C_4$ elem.
VI	5,1	3,43	67	67,5	3,44
X	5,15	3,48	68	67,0	3,45
VIII	5,3	3,30	62	65,3	3,46
VII	5,3	3,18	60	65,3	3,46
V	5,3	3,64	69	65,3	3,46
IV	5,5	3,59	65	63,0	3,47
III	5,5	3,50	64	63,0	3,47
IX	5,55	3,68	66	62,5	3,47
II	5,7	3,49	61	60,8	3,47
I	5,9	3,31	56	58,5	3,45
		3,46			3,46

Het percentage C in de humus is kleiner naarmate het humusgehalte van de grond hoger is. De vereffening gaf als uitkomst

$$C = -11,22H + 124,73$$

Hierin is C het koolstofgehalte van de humus en H het humusgehalte van de grond.

In deze proef is gevonden  $y_t = 1,80$  (par. 3). Door deze waarde te kiezen voor  $H$  wordt verkregen  $C = 104,53$ . Deze waarde ligt zeer dicht bij 100. Dit wil zeggen, dat als de extrapolatie tot 1,80 toelaatbaar is, de inerte humus bestaat uit zuivere koolstof. (Extrapolatie naar boven is zeker niet toegestaan, daar dan  $C = 0$  zou worden bij  $H = 11,1$ ).

Van de 3,46 %  $C$  is 1,80 % of 52 % van de voorraad aanwezig in de vorm van koolstof, de rest of 48 % in de vorm van humus.

Hoe lager het humusgehalte is, hoe groter aandeel de inerte humus daarin heeft dus hoe hoger daardoor het gemiddeld  $C$ -gehalte van de humus is.

Ook op andere wijze geeft het materiaal van VAN DIJK bevestiging voor de juistheid van  $y_t$  n.l. in de bepaling der gehalten aan totaal stikstof,  $N_t$ :

<i>Object</i>	<i>% <math>N_t</math></i>	<i>Idem na vereffening</i>
VI	0,155	0,164
X	0,162	0,167
VIII	0,211	0,174
VII	0,180	0,174
V	0,153	0,174
IV	0,183	0,183
III	0,170	0,183
IX	0,188	0,186
II	0,198	0,193
I	0,198	0,202

De vereffening leverde de functie  $N = 0,047H - 0,077$ . Bij  $y_t = 1,80$  is  $N = 0,008$  % van de grond. Dit is 0,44 % van de inerte humus, wat zeer laag is vergeleken bij het normale stikstofgehalte van humus.

Binnen het spreidingsgebied, waarin de humusgehalten zich in 1957 bewogen (en vermoedelijk mag naar beneden geëxtrapoleerd worden) betekent een daling van het humusgehalte geen daling van  $C$ , wel van  $N$ . Met opzet wordt hier gesproken van daling, omdat in dit geval sprake is van een daling der humusgehalten – welke daling door organische bemesting meer of minder wordt verzwakt – en niet van een meer of minder sterke stijging. Het wordt betwijfeld, of bij een stijging van het humusgehalte  $C$  niet en  $N$  wel zal stijgen. Immers, in deze esgrond is met de humusvoorraad tevens de  $C$ -voorraad opgebouwd door plaggen- en potstalbemesting tot – in 1932 – 5,9 % humus (zie (36) pag. 42).

Voortgezette studie zal moeten uitwijzen of een humusgehalte, ontstaan óf door teruglopen van een hoger gehalte óf door opbouwen vanuit een lager gehalte, waarbij in het eerste geval de humus een hoger koolstofgehalte zal hebben, tot verschil in humuskwaliteit en in produktiviteit van de grond zal leiden.

De teruggang van  $N$  is even sterk als die van humus, daar over het gehele traject  $N$  in procenten van de 'actieve' humus (humusgehalte —  $y_t$ ) 5,0 bedraagt. Afbraak van deze humus betekent dus verdwijnen van  $N$  (en vermoedelijk  $H$  en  $O$  en andere elementen) maar *niet* verdwijnen van  $C$ .

Verdere bewijzen voor het zojuist geconstateerde karakter van  $y_1$  zijn gelegen in de volgende, ook door VAN DIJK verrichte bepalingen van het percentage van de koolstof, dat mineraliseerbaar is en van het percentage koolstof, dat zich in de huminezuren bevindt. De mineralisatie werd gedurende 30 dagen doorgevoerd, het opgevangen  $\text{CO}_2$  gemeten en de  $C$  uitgedrukt in % van  $C_t = 3,46$ . De  $C$  aanwezig in huminezuur ( $C_{h.z.}$ ) werd eveneens uitgedrukt in % van  $C_t = 3,46$ .

Object	$C$ gemin. in % van $C_t$	idem vereffend	$C_{h.z.}$ in % van $C_t$	idem vereffend
VI	1,05	1,09	29	29,7
X	1,07	1,10	30	29,7
VIII	1,15	1,15	31	31,4
VII	1,07	1,15	32	31,4
V	1,20	1,15	32	31,4
IV	1,27	1,21	36	33,1
III	1,27	1,21	32	33,1
IX	1,24	1,22	30	33,5
II	1,32	1,27	38	34,8
I	1,24	1,33	35	36,5

De beide grootheden werden rechtlijnig vereffend met het humusgehalte als onafhankelijke variabele. De eerste vereffening gaf  $y = 0,299H - 0,436$ . Bij  $H = 1,8$  ( $= y_1$ ) wordt  $y = 0,10$ . Dit valt binnen de foutengrens. Dus als het humusgehalte tot  $y_1$  nadert, nadert de mineraliseerbaarheid tot 0. De tweede functie luidt  $y = 8,54H - 13,9$ . Dit wordt bij  $H = 1,8$  gelijk aan 1,4, wederom niet significant van 0 afwijkend. Bij een humusgehalte gelijk aan  $y_1$  zijn er geen huminezuren meer.

Terloops zij opgemerkt, dat de uitkomsten verkregen uit volkomen onafhankelijk van elkaar verrichte bepalingen – enerzijds  $y_1$ , anderzijds  $C_t$  elem.,  $C$  huminezuur,  $C$  gemineraliseerd,  $N_t$  – die bovendien alle in dezelfde richting wijzen, een nieuwe bevestiging vormen voor de juistheid van de theorie, welke  $y_1$  opleverde. Deze bevestiging betreft, behalve de theorie ook de gelijkheid der parameters in alle objecten, de additiviteit en het afwezig zijn van interacties.

De inerte humus in PO. 168 bestaat dus uit elementaire koolstof. Niet bekend is of dit in 'gewone' zandgronden en in kleigronden eveneens het geval is, daar hiervoor soortgelijke bepalingen nog niet zijn verricht. In overeenstemming met de titel van deze studie zal dus verder slechts aandacht gewijd worden aan het kwantitatieve aspect, ook van  $y_1$ .

Overzien wij de uitkomsten – voor  $y_1$  evenals voor  $K_1$  en  $K_2$  – verkregen met de in het voorgaande gedetailleerd geanalyseerde gevallen (zie pag. 59), dan blijkt hun aantal nog te klein te zijn om scherpe conclusies te trekken.

Het scherpst springt in het oog de hoogte van  $y_1$  in de beide esgronden. Zoals gezegd, kan deze waarde zonder verdere gegevens niet als maatgevend voor zandgronden worden beschouwd.

<i>Geval</i>	<i>afslibbaar</i> %	$K_1$	$K_2$	$K_1/K_2$	$y_i$
Pr 1265	20	0,37	0,018	19	0,15
PO 168	z <sup>1</sup>	0,22	0,016	14	1,80
WO 107	z <sup>1</sup>	0,24	0,016	15	1,10
NGr 1252	57	0,41	0,024	17	0,59
Bom	22	0,49	0,019	25	

<sup>1</sup> zandgrond

Van de beide kleigronden is  $y_i$  het hoogst in de grond met het hoogste gehalte aan afslibbare delen.

$K_2$  is in het voorhanden materiaal het minst variabel (gemiddeld 0,019), daarna volgt  $K_1/K_2$ . Het laatste quotient is gemiddeld 19. Zouden  $K_2$  en  $K_1/K_2$  als gemiddeld constant worden aangenomen, dan zou ook  $K_1$  constant moeten zijn. Deze vertoont evenwel een niet onaanzienlijke variatie. Het gedrag der parameters is dus thans nog onzeker, maar zal in de volgende hoofdstukken worden onderzocht.

De uitbreiding van formule (II) van pag. 19 met  $y_i$  wijzigt de algemene formule van HÉNIN-DUPUIS in

$$\ln \frac{K_1 x - K_2 (y_0 - y_i)}{K_1 x - K_2 (y - y_i)} = K_2 t$$

Nu de theorie, met de uitbreiding met  $y_i$ , als in hoofdzaak juist kan worden beschouwd kan op deze basis worden overgegaan tot een studie van de humushuishouding in de Nederlandse akkerbouwgronden.

### III TOEPASSING BIJ GRONDSOORTEN VAN VERSCHILLENDE ZWAARTE

#### 1 INLEIDING

In dit hoofdstuk zullen worden behandeld de minerale gronden waarmede worden aangeduid de groep der zand-, zavel- en kleigronden, in het algemeen gronden waar de humus zich overwegend in de bouwvoor bevindt en waar het humusgehalte niet zeer hoog is. Een geheel andere groep van gronden, aangeduid als humusrijke gronden zal buiten beschouwing blijven. Hierin komen humusrijke profielen voor en is het humusgehalte in de bouwvoor in het algemeen hoger dan bij de minerale gronden.

De minerale gronden verdienen speciale aandacht, daar het uit de literatuur bekend is, dat er een verband bestaat tussen de gehalten aan afslibbare delen en humus zodanig, dat met hoger slibgehalte een hoger humusgehalte gepaard gaat. Aangenomen mag worden, dat dit het geval is bij gemiddeld gelijke voorziening met organische stof.

Gezien in het licht van de in deze studie ontwikkelde theorie omtrent vorming en afbraak van humus gaat het er dus om, uit te maken van welke parameter(s) uit de humusformule de variatie samenhangt met het gehalte aan afslibbare delen.

#### 2 HET VERBAND TUSSEN DE GEHALTEN AAN HUMUS EN AFSLIBBARE DELEN IN HET ALGEMEEN

Dit verband is door vele schrijvers geconstateerd. WIGGERS (35) noemt de belangrijkste uit de Nederlandse literatuur.

Het terrein overziende komt WIGGERS in het algemeen tot lineaire verbanden tussen de beide gehalten met slechts enkele uitzonderingen. Eén uitzondering, de *s*-vormige lijn van MASCHHAUPT, wordt door WIGGERS uiteengelegd in 3 rechte lijnstukken, n.l. een horizontale tak zowel bij de lage als bij de hoge slibgehalten, verbonden door een hellende tak.

De horizontale lijnstukken zijn met geen enkele lijn uit de andere figuren van WIGGERS in overeenstemming. Wel komen daarin enkele horizontale delen van krommen voor, maar dan op totaal verschillende niveaus. Ook de hellende lijnstukken liggen op ongelijke hoogten.

De zeer verschillende niveaus, waarop de lijnen uit de afzonderlijke onderzoeken zich bewegen tonen aan, dat zij niet gezamenlijk een universum vormen. Dit kan echter even goed verondersteld worden voor elke puntenzwerm (met lijn) afzonderlijk, daar die steeds een groot gebied omvat. Ook zo'n gebied zal slechts zelden een homogeen universum vormen, maar zal zo goed als zeker uit verschillende deel-universa

bestaan. Zoals dit reeds (door MASCHHAUPT, KOORNNEEF e.a.) werd opgemerkt voor in het verleden door scheuren tot bouwland gemaakte gronden en oude bouwlanden, zo zullen ook andere verschillen in gebruik in het verleden tot verschillen voeren.

Een materiaal van zeer grote omvang en van meer recente datum is beschikbaar in de samenvattingen van de analyses verricht door het Bedrijfslaboratorium voor Grond en Gewasonderzoek (B.L.). De daar tot voor enkele jaren verzamelde gegevens

FIG. 3. Het verband tussen de gehalten aan humus en afslibbare delen

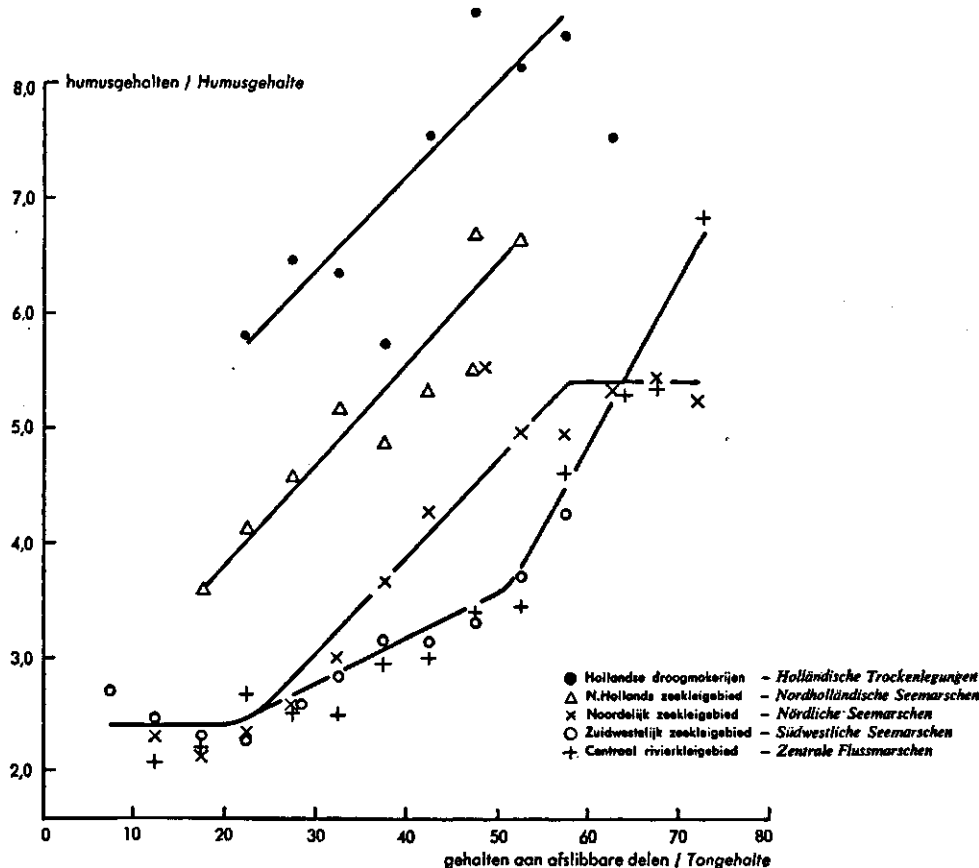


FIG. 3. Der Zusammenhang zwischen Humus- und Tongehalt

werden gemiddeld tot de enkele punten, weergegeven in figuur 3. Dit zijn dus generalisaties over nog grotere gebieden dan in het door WIGGERS verzamelde materiaal.

Bij vergelijking van het materiaal van WIGGERS met dat van het Bedrijfslaboratorium blijken grote niveauverschillen, zelfs voor overeenkomstige gebieden.

Hieruit mag worden geconcludeerd, dat er steeds sprake is van verschil in universa.

Het B.L.-materiaal op zichzelf beschouwd levert tussen de diverse gebieden karakteristieke verschillen op:



- 1 de Hollandse droogmakerijen liggen het hoogst, dan volgt het Noord-Hollands zeeleigebied en het laagst liggen het noordelijk en het zuidwestelijk zeeleigebied en het centraal rivierleigebied; zo is bij 25% afslibbaar het humusgehalte resp. 6,0, 4,4, 2,4%.
- 2 in de groep van de drie laagste niveaus stijgt het noordelijk zeeleigebied het snelst, maar is de stijging het eerst (bij 5,2%) afgelopen,
- 3 het zuidwestelijk zeeleigebied en het centraal rivierleigebied gedragen zich gelijk.

Als algemene conclusie kan gesteld worden, dat bij alle gronden in de humus-sliblijnen een stijgend gedeelte voorkomt, met soms een horizontaal stuk in het lage gebied en soms in het hoge gebied; dat op grond van de lijnen, die er op het oog doorgetrokken zijn van 20-60% slib evenwijdigheid bestaat voor de Hollandse droogmakerijen, het Noord-Hollandse zeeleigebied en het noordelijk zeeleigebied, dat echter het zuidwestelijk zeeleigebied en het centraal rivierleigebied een ander beeld vertonen, n.l. een discontinu verloop. Trouwens ook bij het noordelijk zeeleigebied ontstaan door de horizontale lijnstukken beneden 20% en boven 60% slib discontinuïteiten. Daar deze gedeelten in de beide lijnstukken in de beide andere gronden ontbreken kan hiervoor omtrent het al of niet voorkomen van horizontale lijnstukken niets gezegd worden; gronden met zeer lage en zeer hoge slibgehalten komen er niet voor.

De 3 evenwijdige lijnen tussen 20 en 60% slib geven voor het humusgehalte een stijging te zien van 8,6% van de stijging van het slib; de discontinue lijn voor rivierklei en z.w. zeelele daarentegen van 4,0% in het zwakst en 13,6% in het sterkst stijgende gedeelte.

De hoge ligging voor de Hollandse droogmakerijen en het noordelijk zeeleigebied zal wel verklaard moeten worden doordat dit gescheurd grasland is; voor het eerste gebied vermeldt MASCHHAUPT in (43) dat zij werden gescheurd in 1916-1920, terwijl voor het tweede bekend is, dat het werd gescheurd in het laatste kwart van de 18e en het eerste van de 19e eeuw.

Er kan dus als veronderstelling geopperd worden, dat op de lange duur, bij voortdurend gebruik als bouwland, de 3 evenwijdige lijnstukken zullen gaan samenvallen in het middengedeelte van de lijn voor het noordelijk zeeleigebied. Indien deze veronderstelling juist is, bestaat er een kenmerkend verschil in de humussliblijnen tussen alle noordelijke en alle centrale en zuidelijke kleigronden. Zij vertonen n.l., behalve een gemeenschappelijk stuk tussen 0 en 20% slib, een ongelijke stijging van humus tussen 20 en 60% slib, n.l. de sterkste stijging bij de noordelijke gronden, en daarboven geen stijging meer bij de noordelijke doch een nog sterkere stijging bij de zuidelijke gronden.

Zoals figuur 3 aangeeft zijn de humusgehalten in het belangrijke middengebiet van 20 tot 60% slib in het zuiden lager dan in het noorden. Daar dit laatste ook geldt voor zandgronden komt men tot de overtuiging, dat hier de klimaatsfactor doorslaggevend is, in dier voege, dat in het zuiden in het algemeen een lager humusgehalte ontstaat

dan in het noorden. Dit is in overeenstemming met de formule van JENNY, zie voetnoot pag. 13. Naar het noorden gaande zal er dus onder invloed van het klimaat bij eenzelfde type grond een hoger humusgehalte gevonden worden. Hiermede moeten, bij een gelijke voorziening met organische stof, de parameters verband houden.

Er zij nog gewezen op de knikken in de lijnen van fig. 3. Ten aanzien van de bovenste knik zij opgemerkt dat de humusgehalten wel hoger kunnen stijgen, zoals de lijnen voor de Hollandse droogmakerijen in het Noord-Hollandse zeekleigebied aangeven. Hier zijn door oud grasland grotere humusvoorraden opgebouwd dan overeenstemmen met het plafond voor de noordelijke zeeklei.

De bovenste knik in de gezamenlijke lijn voor het zuidelijk zeekleigebied en het centraal rivierengebied doet denken aan een grens bij ongeveer 60%, waar beneden reeds sedert een ver verleden bouwland, en waarboven lange tijd maar in een minder ver verleden bij voorkeur de weidebouw werd beoefend. Dit is nog zo. Zo vermeldt KOORNNEEF (41), dat in Klundert de gronden met meer dan 60% slib alle in gras gelegd zijn; dat in Zwaluwe dit reeds gebeurt boven 40% (wat volgens hem samenhangt met het feit, dat boven deze grens het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte laag is); en dat dit in de Oude Moeren reeds gebeurt boven 20% (daar dit de laaggelegen, te natte gronden zijn). Het is zelfs niet denkbeeldig, dat het verschil in helling na de knik het gevolg is van een wisselende verhouding in aantallen punten behorende tot 2 evenwijdige lijnen, waarvan de bovenste gewezen grasland en de onderste van oudsher oud bouwland representeert. De lage horizontale tak is voorlopig niet te verklaren.

Als algemene conclusie kan gesteld worden, dat over een breed traject het humusgehalte bij een gelijke aanvoer van organisch materiaal stijgt evenredig aan het gehalte aan afslibbare delen. Er moet dus verband bestaan tussen een of meer der parameters ( $K_1$ ,  $K_s$ ,  $\gamma_i$ ) en het slibgehalte.

Na deze algemene conclusie leek het dienstig genoemd verband nog eens nauwkeurig na te gaan in een eigen materiaal van voldoende omvang (360 waarnemingen), met een voldoende grote spreiding in slibgehalte (28,7–64,3% slib), en dat door grootte en ligging mag worden aangenomen altijd gelijk behandeld te zijn.

Zulk een materiaal is voorhanden in Pr. 1254 te Nederhemert, dus op rivierklei. Dit is een groot proefveld, omvattende 360 veldjes van  $6 \times 8$  m. Bij het inzetten van de proef (winter 1951/1952) werd het geheel bemonsterd voordat enige ingreep had plaatsgehad.

De waarnemingen werden naar stijgend slibgehalte gerangschikt in 20 groepen van 18, waarvan de gemiddelde slib- en humusgehalten werden bepaald en in een grafiek tegen elkaar uitgezet. De stippen suggereren (zie fig. 4) een rechte lijn verband. Opgemerkt zij, dat het materiaal goed aansluit bij de middelste tak van de lijn voor rivierklei in fig. 3. Zelfs voor het hoge punt zou men aansluiting kunnen zoeken bij de sterker stijgende bovenste tak, ware het niet, dat één punt te weinig is voor een zo ver gaande conclusie.

De punten werden vereffend volgens de methode voor rechte lijnige vereffening bij twee in even sterke mate met fouten belaste variabelen (volgens VAN UVEN). De

uitkomst is  $y = 0,048x + 1,147$  of afgerond  $y = 0,05x + 1,15$ . (Hierin is  $x$  het slibgehalte en  $y$  het humusgehalte).

Het humusgehalte stijgt dus wederom in evenredigheid met de stijging van het slibgehalte.

Nu kan men echter, zo lang geen ondubbelzinnige verklaring gegeven kan worden voor dit feit, met evenveel recht zeggen dat het humusgehalte daalt bij stijgend zandgehalte. De gehalten aan zand, slib en humus (kalk bedraagt hier slechts enkele honderdste procenten) zijn n.l. samen 100.

Bij extrapolatie naar  $x = 0$  is  $y = 1,15$ . Dus bij enkel zand en humus is er 98,85% zand en 1,15% humus, dus is humus 1,16% van het gewicht van het zand. Duiden wij het percentage zand aan door  $x'$ , dan is  $x' + x + y = 100$ , of  $x = 100 - x' - y$ . Dit gesubstitueerd in  $y = 0,048x + 1,147$  geeft  $y = -0,046x' + 5,675$ . Is nu  $x' = 0$  dan is  $y = 5,675$ . Dus bij enkel slib en humus is er 94,325% slib en 5,675% humus zodat dan de humus 7,02% van het slib bedraagt.

Men kan het verloop der humusgehalten bij stijgend slibgehalte nu verklaren door een constant humusgehalte in (of aan) slib en zand. Daar het in slib zoveel hoger is dan in zand, stijgt het bij stijgend slibgehalte. Deze verklaring voldoet evengoed als die, welke zegt, dat het door de vorming van kleihumuscomplexen, van de hoeveelheid slib afhangt hoeveel humus gevormd zal worden. Dit laatste is op zichzelf wel juist, maar aangetoond zal worden, dat niet het slib alleen van invloed is op het humusgehalte, doch dat beide componenten hierin een gelijkwaardige rol spelen.

Het is mogelijk, ja zelfs waarschijnlijk, dat in een zandgrond de humusophoping op een andere wijze verloopt dan in kleigrond, zelfs dat dit zou kunnen gelden voor een zandgrond en de zandfractie in een kleigrond. Het chemisme en/of mechanisme van de bindingen tussen humus en klei resp. zand zijn hier geheel in het midden gelaten. Toch is inzicht hierin geboden om het verschil in gedrag te kunnen verklaren. Want wel is er veel literatuur over klei-humusbindingen, en wordt er gesproken over in de richting van verkoling gaande humificatie, in feite is weinig hieromtrent nog bekend. In dit opzicht kan een bestudering van de ware aard van de meermalen gevonden voorraad aan inerte humus ook van betekenis zijn.

Immers, dat het humusgehalte van gronden van verschillende zwaarte variabel is, berust hoogstwaarschijnlijk daarop, dat  $y_t$  even variabel is. Men kan n.l. de volgende veronderstellingen maken, uitgaande van de humusformule

$$y_m = \frac{K_1}{K_2} x + y_t.$$

1. Is  $y_t$  even variabel als  $y_m$ , dan is  $(K_1/K_2)x$  dus de voorraad 'actieve' humus bij alle slibgehalten gelijk en slechts afhankelijk van  $x$  als  $K_1$  en  $K_2$  of althans hun quotiënt constant zijn. Wordt  $x$  verhoogd of verlaagd, dan ondergaat  $y_a$  (de voorraad actieve humus) en dus  $y_m$  dezelfde verandering op alle slibniveaus. Dit komt neer op evenwijdige verschuiving van de humussliblijnen bij verschil in voorziening met organische stof.

2. Is  $K_1/K_2$ , door verandering van een van beide of van beide, variabel en afhankelijk van het slibgehalte (dus hoger bij hoger slibgehalte), terwijl  $y_t$  onafhankelijk daarvan is, dan moet verhoging van  $x$  bij hoger slibgehalte een sterkere verhoging van  $y_m$  geven dan bij lager. De humussliblijnen divergeren (de mogelijkheid van evenwijdigheid door een gelijktijdige even sterke daling van  $y_t$  wordt als te onwaarschijnlijk terzijde gelaten).

In het hoofdstuk 'Toetsing' werd reeds de indruk gekregen, dat  $K_1/K_2$  en  $K_2$  weinig variabel zijn al was het materiaal niet voldoende om tot constantheid te besluiten. Zou deze indruk juist blijken te zijn, dan zou daaruit volgen, dat het verband tussen humus- en slibgehalte berust op het verband tussen inerte humus en slib.

De indruk zal verstevigd moeten worden door na te gaan of verhoging van de voorziening met organische stof bij uiteenlopende slibgehalten leidt tot een gelijke verhoging van  $y_m$ , dus tot evenwijdige verplaatsing van de humussliblijnen.

In dit verband zij allereerst verwezen naar de 3 evenwijdige lijnstukken in fig. 3,

FIG. 4. Het verband tussen de gehalten aan humus en afslibbare delen in een grote veldproef

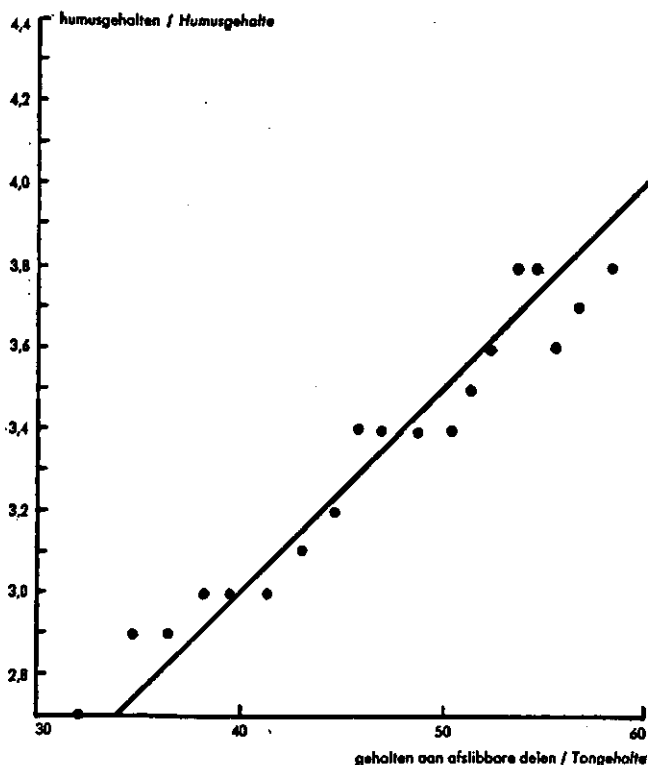


FIG. 4. Der Zusammenhang zwischen den Gehalten an Humus und Ton in einem groszen Feldversuch

welke hun ontstaan danken aan versterkte aanvoer van organische stof door grasland, dat gescheurd is. Voorts zal het vervolg van Pr. 1254 gezien worden. En tenslotte zal

het resultaat van twee speciaal op dit doel gerichte proeven worden behandeld. Het zal blijken, dat steeds een evenwijdige – of nagenoeg evenwijdige – verschuiving optreedt.

### 3 HET VERBAND TUSSEN DE GEHALTEN AAN HUMUS EN AFSLIBBARE DELEN IN EEN VELDPROEF

De proef Pr. 1254 werd in 1952 ingezet met 5 objecten in tweevoud, elk vak bestaande uit 36 veldjes (ingedeeld in 6 blokken van 6). De objecten zijn:

- 1 Kunstmest
- 2 Stalmest; 30 ton eenmaal per 2 jaar
- 3 Turfmolm; gemiddeld 12,5 ton eenmaal per 2 jaar
- 4 Groenbemesting bestaande uit bietenloof en ondergeploegde herfstgewassen
- 5 Turfmolm + groenbemesting, de combinatie van 3 en 4.

De kunstmestbemesting was als in object 1 met compensatie van de plantenvoedende elementen.

De richtingscoëfficiënten van de rechte lijnen (humusgehalte uitgezet tegen slibgehalte) in 1952 en 1960 waren:

	1952	1960
gehele materiaal	$0,048 \pm 0,003^1$	
1	$0,035 \pm 0,005$	$0,029 \pm 0,002$
2	$0,051 \pm 0,009$	$0,040 \pm 0,003$
3	$0,048 \pm 0,006$	$0,040 \pm 0,005$
4	$0,068 \pm 0,006$	$0,034 \pm 0,003$
5	$0,042 \pm 0,006$	$0,039 \pm 0,005$

<sup>1</sup> Zie pag. 64

Van de 10 waarnemingen is slechts object 4 in 1952 afwijkend. Verder vertonen zij in 1952 noch met het gehele materiaal, noch onderling, in 1960 niet onderling, en ten slotte niet per object bij vergelijking van 1952 en 1960, significante verschillen. Wij mogen dus wel om het resultaat bij benadering op gemakkelijke wijze vast te stellen de gemiddelde humusgehalten in beide jaren vergelijken:

	1952	1960	1960-1952	idem meer dan 1
1	3,13	3,39	0,26	—
2	3,28	3,79	0,51	0,25
3	3,54	4,23	0,69	0,43
4	3,65	3,81	0,16	-0,10
5	3,28	4,02	0,74	+0,48

Van de groenbemesting kan nog geen werking worden vastgesteld. De groenbemesting als object buiten beschouwing latende kunnen 1 en 4 evenals 3 en 5 worden samengevoegd. Dan ontstaat op dezelfde wijze als boven:

	1952	1960	1960-1952	<i>idem meer dan 1</i>
1 en 4	3,39	3,60	0,21	—
2	3,28	3,79	0,51	0,30
3 en 5	3,41	4,12	0,71	0,50

De evenwijdige, verticale verplaatsing naar boven is dus 0,3 voor stalmest en 0,5 voor turfmoalm. Bij een bouwvoorgewicht van 2 mil kg is het stalmestobject dus toegenomen met 6000, het turfmoalmobject met 10 000 kg humus. Daar deze toenames het gevolg zijn van 4 giften is de toename per gift resp. 1500 en 2500 kg. De giften waren 30 ton stalmest en 12,5 ton turfmoalm bevattende resp. 3,9 en 5 ton organische stof. De  $K_1$  kan dus ruwweg gesteld worden op 0,38 en 0,50. Hoewel dit alles zeer ruw is, komen wij toch in de buurt van de meermalen gevonden waarden voor  $K_1$  uit. Mogelijk is die voor turfmoalm hoger dan die voor stalmest, doch de berekening is te onzeker om dit op grond van deze uitkomst te durven aannemen.

Dat van de groenbemesting geen werking kon worden vastgesteld is wat wonderlijk, gezien het feit, dat deze in 8 jaar bestaan heeft uit  $2 \times$  bietenloof, voorts  $3 \times$  rode klaver en  $1 \times$  haver als stoppelgewas. In totaal is er wellicht 16 ton droge organische stof aangevoerd of gemiddeld 2 ton per jaar, hetgeen evenveel is als in de stalmest. Mogelijk speelt hier een rol het afwijkende gedrag van de groenbemesting in object 4. Wordt n.l. in dit object voor het verschil in humusgehalte tussen 1952 en 1960 niet genomen het verschil tussen de gemiddelde humusgehalten in beide jaren (zoals boven werd gedaan), maar het verschil tussen de waarden voor  $q$ , d.z. de punten, waar de humussliblijnen de ordinaat snijden, dan wordt dit verschil juist zeer groot, n.l. 1,90. Het kan dus zijn, dat de groenbemesting wel invloed heeft gehad, maar dat de proeffout maakt, dat deze niet aan te tonen is. Dit is evenwel thans niet vast te stellen.

#### 4 EXPERIMENTEEL GEDEELTE I

Om proefondervindelijk gegevens te verkrijgen inzake de invloed van de verhouding zand: slib op het humusgehalte werd enerzijds een proef genomen waarin gronden van verschillende zwaarten werden samengesteld en anderzijds een waarin een klei-grond werd gesplitst in zijn componenten.

Het doel der eerste proef (VPr. 184) was de humusvorming te vervolgen bij verschillende zwaarten van de grond en bij nauwkeurig gedoseerde toevoegingen van organische stof.

Gebruikt werden zand en klei in 4 mengverhoudingen (van licht tot zwaar).

Humus wordt aangebracht in 2 vormen, n.l. wortels en calhahumus, ook wel genoemd stabiele humus  $x_2$ . Wortels zijn een in de natuur en in de landbouw uiterst belangrijke bron van organische stof. De calhahumus is een synthetische humusvorm, waarvan beweerd werd, dat deze niet of vrijwel niet zou worden afgebroken.

Van tijd tot tijd wordt het humusgehalte van de 64 combinaties nagegaan. Andere bepalingen worden niet verricht.

De proef wordt genomen in cementen bakken van  $25 \times 25$  cm en 60 cm diep, van onderen open. In verband met de mogelijkheid van kalkafgifte zijn deze bakken inwendig bestreken met het asfaltpreparaat 'Inertol'. De grond blijft steeds onbegroeid en onbemest.

De proef is ingedeeld als volgt:

- A. 1. Enkel zand.
  - 2. Zand: klei = 5 : 3 (naar het volumen).
  - 3. Zand: klei = 1 : 2 (naar het volumen).
  - 4. Enkel klei.
- B. Elk der 4 trappen van A is onderverdeeld in:
  - 1. Geen wortels.
  - 2. 10 g wortels per pot = 1600 kg/ha per jaar.
  - 3. 20 g wortels per pot = 3200 kg/ha per jaar.
  - 4. 30 g wortels per pot = 4800 kg/ha per jaar.
- C. De 16 combinaties van A en B zijn nog verdeeld in:
  - 1. Geen stabiele humus.
  - 2. 30 g stabiele humus per pot = 4 800 kg/ha per 3 jaar.
  - 3. 60 g stabiele humus per pot = 9 600 kg/ha per 3 jaar.
  - 4. 90 g stabiele humus per pot = 14 400 kg/ha per 3 jaar.

Elk der 64 combinaties van A, B en C wordt  $4 \times$  herhaald. Er zijn dus 64 objecten en 256 bakken. De bakken zijn geplaatst in een vierkant, dus  $16 \times 16$  bakken. De proefopzet is die van een  $4^3$  proef met gelijkmatige partiële confounding in quasi latin squares van  $8 \times 8$  in viervoud. Deze opzet is beschreven in (53) naar aanleiding van deze zelfde proef.

Aan de klei is 1 deel bentoniet op 5 delen van de gebruikte klei toegevoegd (eventeens naar het volumen gerekend). Dit mengsel wordt steeds aangeduid als klei, welke klei dus 16,67 volumenprocenten bentoniet bevat.

In het voorjaar 1951 werden de bakken geplaatst en tot op 20 cm vanaf de rand gevuld met zand. De verdere aanleg vond met enige onderbreking plaats van 29 aug. - 12 sept. '51. Het zand was afkomstig uit een afgraving. Dit zand is ook als ondergrond gebruikt.

Mengsel 4 bleek in natte toestand een slechte structuur te krijgen. Dit is niet te verwonderen, daar bentoniet gebruikt is met een hoog natriumgehalte. Medio oktober 1951 werd over de gehele proef gips toegediend in hoeveelheden van 12,5 g per bak, d.i. 20 ton per ha, zulks omdat de doorlatendheid in de natriumbentoniethoudende objecten zeer slecht was.

De bakken zijn, met het oog op verder bezakken van de grond, tot aan de rand gevuld. Inhoud van één bak: 12,5 l, d.i. voor  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  en  $A_4$  resp. 15,2 kg, 13,8 kg, 13,6 kg en 14,8 kg (de volumengewichten zijn dus 1,2–1,1–1,1–1,2).

Uit  $A_1$  en  $A_4$  volgt, dat zand en klei praktisch hetzelfde volumengewicht hadden. Dit is gelijk aan het gemiddelde van de 4 objecten dus 1,15. De gewichten aan zand en klei zijn dus evenredig aan de volumeverhoudingen.

Deze hoeveelheden zand en klei bevatten bij de vulling ongelijke vochtpercentages. De klei was vochtiger dan het zand. Bovendien bevatte het zand 2% afslibbaar en de klei 37% totaal zand. Zodoende luiden de verhoudingen van de percentages slib en zand anders dan de mengverhoudingen. De samenstelling was bij het inzetten van de proef als volgt:

	<i>Humus</i>	<i>afslibbaar</i>	<i>fijn zand</i> <i>&lt;105</i>	<i>grof zand</i> <i>&gt;105</i>	<i>CaCO<sub>3</sub></i>
$A_1$	0,4	2	55	43	—
$A_2$	0,7	18	44	37	0,480
$A_3$	1,1	32	44	22	0,870
$A_4$	1,8	59	36	2	1,8

Het zand bevatte vrijwel geen humus, de klei wel.

Er werden pas voor het eerst grondmonsters genomen in juli 1961, dus na 10 jaar. De reden, waarom dit zo zelden gebeurt is, dat in deze kleine bakjes (1/16 m<sup>2</sup>) bij vaak herhaalde bemonstering de hoeveelheid grond te snel zou afnemen. Er hadden toen 4 giften van  $X_2$  plaatsgehad of in totaal 0–19, 2–39, 4–57,6 ton per ha. Dit is dus heel wat meer dan de dosis (3 ton per ha voor een zeer lange tijd) welke de makers van het produkt (prof. HUDIG en ir. SIEUWERTSZ VAN REESEMA) hiervoor aangaven.

De wortels worden gegeven in hoeveelheden, welke alle liggen in het gebied, dat als nog normaal moet worden beschouwd. De wortels worden verkregen van allerlei proeven, voornamelijk potproeven. Na droging worden zij gemalen en als droog poeder door de bouwvoor gewerkt. Dit is bedoeld als nabootsing, maar dan nauwkeurig gedoseerd, van wat in de natuur plaatsvindt.

Duiden wij de trappen aan met 1–4, dan werden de volgende humusgehalten verkregen door per factor over de beide andere variabelen te middelen.

<i>Trap</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Slib	1,38(100)	1,44(104)	1,72(125)	2,14(155)
Wortels	1,54(100)	1,62(105)	1,72(111)	1,80(115)
$X_2$	1,30(100)	1,48(114)	1,78(137)	2,14(165)

Op deze wijze lijkt het alsof de invloed van slib en  $X_2$  steeds sterker wordt, naarmate de trap hoger is, terwijl de invloed van de wortels evenredig is aan de hoeveelheid.



Door de wortels is de stijging gemiddeld 0,09 eenheid humus per jaarlijkse gift van 1600 kg/ha. Bij een bouwvoorgewicht van 2,3 mil. kg is er dus 2070 kg humus ontstaan uit  $10 \times 1600 = 16\ 000$  kg wortels zodat er 13% is gehumificeerd en nog niet afgebroken.

Hierna is onderzocht, wat de uitkomst is als alle verbanden geacht worden lineair en additief te zijn. Door bewerking volgens de meermalen gebruikte methode van vereffening van indirecte waarneming van  $n$  variabelen, wordt dan gevonden als de trappen de waarde 0, 1, 2 en 3 wordt toegekend en de factoren slib, wortels en calha-humus worden aangegeven door  $a$ ,  $b$  en  $c$ :

Humusgehalte =  $0,74 + 0,26a + 0,086b + 0,28c$ . De parameters zijn zeer nauwkeurig, daar de eerste bedraagt  $0,74 \pm 0,06$  en de 3 andere elk 0,02 als  $\sigma$  hebben.

Aan de hand dezer parameters wordt bovenstaand tabelletje:

Trap	1	2	3	4
Slib	1,29(100)	1,55(120)	1,80(140)	2,06(160)
Wortels	1,55(100)	1,63(106)	1,72(112)	1,80(118)
$X_s$	1,25(100)	1,53(123)	1,82(146)	2,10(169)

Door de wortels wordt nu per trap een verhoging met 0,086 eenheid humus verkregen, zodat er van de 16 000 kg toegediende wortels nog 12,5% aanwezig is.

Van de zich in de toegediende calha-humus bevindende organische stof is nog omstreeks 45% aanwezig (het vochtgehalte van de toegediende  $X_s$  is niet nauwkeurig bepaald). Nu was ruim een jaar tevoren een voor 3 jaar bestemde gift toegediend. Wordt deze in zijn geheel in mindering gebracht – wat zeker te veel is – dan is van de 3 vorige giften nog 30% overgebleven. In elk geval is de z.g.n. stabiele humus dus inderdaad minder aantastbaar dan de humus uit wortels afkomstig maar toch sterker dan werd aangenomen.

Het verschil zit daarin, dat  $X_s$  reeds meer of minder gehumificeerd is en dan in een wellicht eigenaardige vorm door zijn half synthetische oorsprong. Toch is de afname nog zo groot (55 à 70%), dat er zeker niet slechts afbraak maar ook humificatie moet zijn opgetreden. Dit is niet in overeenstemming met de verwachtingen van de producenten van het produkt (voor meer gegevens hieromtrent zij verwezen naar (11), (17) en (18).

Indien de aanname van de additiviteit juist is, dan lopen de lijnen, welke het verband tussen humusgehalte en zwaarte weergeven (invloed factor  $A$ ) voor de verschillende  $B$ 's en voor de verschillende  $C$ 's als ook voor de combinaties daarvan, dus in het algemeen voor verschillende niveaus van voorziening met organische stof, evenwijdig.

De volgens de vorige methode vereffende waarden worden vergeleken met de gevonden gehalten, ten einde de mate van adaequaatheid van de beschrijving te kunnen overzien.

Weergegeven worden  $y_{\text{gevonden}} - y_{\text{verreftend}}$ :

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	Gem.
$A_1 B_1$	+0,48	—	+0,15	+0,54	+0,29
$B_2$	+0,03	—0,16	+0,29	+0,30	+0,16
$B_3$	—0,01	—0,04	—0,05	+0,02	—0,02
$B_4$	—0,08	—	—0,04	+0,08	—0,01
Gem.	+0,11	—0,05	+0,09	+0,24	+0,09
$A_2 B_1$	—0,01	—0,10	—0,31	—0,19	—0,16
$B_2$	+0,07	—0,26	—0,16	—0,03	—0,09
$B_3$	+0,08	—0,27	+0,07	—0,16	—0,07
$B_4$	—0,25	—0,05	—0,29	+0,22	—0,10
Gem.	—0,02	—0,17	—0,18	—0,05	—0,11
$A_3 B_1$	—0,05	—0,03	—0,29	—0,28	—0,16
$B_2$	—0,06	—0,10	—0,22	—	—0,10
$B_3$	—0,02	—	—0,06	—0,02	—0,03
$B_4$	—0,13	—0,21	+0,15	—0,03	—0,05
Gem.	—0,06	—0,08	—0,08	—0,09	—0,08
$A_4 B_1$	+0,09	+0,01	—0,02	+0,05	+0,03
$B_2$	+0,13	+0,08	—0,10	+0,06	+0,04
$B_3$	+0,24	+0,06	+0,11	+0,10	+0,13
$B_4$	+0,19	+0,27	+0,15	—0,01	+0,15
Gem.	+0,16	+0,10	+0,03	+0,04	+0,08
Gem. A	+0,09	—0,11	—0,08	+0,08	
Gem. B	—	—0,01	—	—	
Gem. C	+0,05	—0,04	—0,03	+0,04	

In dit materiaal is  $\sigma = 0,18$ . Voor groepen van vier is dit 0,09 en voor groepen van zestien 0,045. In de groepen van vier is alleen  $A_1 B_1$  verdacht en  $A_1 C_4$  minder. In de groepen van zestien is dit  $A_2$ . De  $A$ , welke hier driemaal genoemd is, is dus twijfelachtig. Het is dus zaak die nader te bezien.

Nu was bij de vorige bewerking de  $A$  ingedeeld in gelijke trappen, zoals bij de aanmaak van de gronden (incl. de verschillende vochtgehalten) ook ongeveer nagestreefd is. De percentages kleigrond in de 4 mengsels waren n.l. 0–37,5–66,7–100. Dit is niet precies 0 : 1 : 2 : 3 maar komt er vrij dicht bij.

Het is echter ook mogelijk de trappen in te delen naar de slibgehalten in de mengsels. Deze waren achtereenvolgens 2–18–32–59, bepaald direkt na de menging en vóór de vulling van de bakjes in 1951. Hiermede wordt gevonden:

$$\text{Humusgehalte} = 0,73 + 0,014a + 0,086b + 0,28c.$$

De afwijkingen  $y_{\text{gevonden}} - y_{\text{verreftend}}$  worden nu:

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Gem.
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	+0,46	—0,02	+0,13	+0,52	+0,27
B <sub>2</sub>	—	—0,18	+0,27	+0,28	+0,09
B <sub>3</sub>	—0,03	—0,06	—0,07	+0,01	—0,04
B <sub>4</sub>	—0,10	—0,02	—0,06	+0,06	—0,03
Gem.	+0,08	—0,07	+0,07	+0,22	+0,07
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	—	—0,08	—0,29	—0,17	—0,09
B <sub>2</sub>	+0,08	—0,25	—0,15	—0,01	—0,08
B <sub>3</sub>	+0,10	—0,25	+0,09	—0,14	—0,05
B <sub>4</sub>	—0,24	—0,04	—0,28	+0,24	—0,08
Gem.	+0,02	—0,16	—0,16	—0,02	—0,08
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	+0,02	+0,04	—0,22	—0,20	—0,09
B <sub>2</sub>	+0,01	—0,03	—0,15	+0,07	—0,03
B <sub>3</sub>	+0,05	+0,07	+0,01	+0,06	+0,05
B <sub>4</sub>	—0,06	—0,14	+0,22	+0,04	+0,02
Gem.	+0,01	—0,02	—0,04	—0,01	—0,01
A <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	+0,11	+0,03	—	+0,07	+0,05
B <sub>2</sub>	+0,14	+0,09	—0,09	+0,08	+0,06
B <sub>3</sub>	+0,26	+0,08	+0,13	+0,12	+0,15
B <sub>4</sub>	+0,20	+0,29	—0,03	+0,01	+0,17
Gem.	+0,18	+0,12	0	+0,07	+0,10
Gem. A	+0,07	—0,08	—0,01	+0,10	
Gem. B	+0,04	+0,01	+0,03	+0,02	
Gem. C	+0,07	—0,03	—0,03	+0,07	

Het materiaal is iets verbeterd, in het bijzonder ten opzichte van *A*, terwijl daartegenover *B* en *C* iets minder fraai zijn. Toch is de verbetering niet groot; dit was ook te verwachten, daar de verhouding 1 : 2 : 3 niet sterk verschilt van 18 : 32 : 59 of 1 : 1,8 : 3,3. De laatste formule wordt aangehouden.

Echter, de horizontale tak bij slibgehalten <20% in fig. 3 geeft te denken ten aanzien van het lineair vereffen van het verband tussen slib en humus zoals hier heeft plaatsgehad. Bovendien werd ook reeds bij de voorlopige eerste berekening op pag. 69 de indruk verkregen van een aanvankelijk flauwe, gevolgd door een sterker wordende stijging, terwijl de berekening van de afwijkingen van de lineair vereffende lijnen (pag. 71 en 72) dezelfde indruk wekte.

Trouwens, de gehele redenering met de daaruit getrokken conclusies, is gebaseerd geweest op de aanname van lineaire verbanden en additiviteit van de effecten (dus afwezigheid van interacties). De opzet van de proef maakte het mogelijk deze aannamen te toetsen. Dit gespecialiseerde werk werd uitgevoerd onder leiding van ir. VENEKAMP, de ontwerper van het proefschema en de eerste schrijver van het over dit schema handelende artikel (53).

Omdat deze bewerking van zeer (wiskundig-) specialistische aard is en zij door ir. VENEKAMP volledig zal worden gepubliceerd moge volstaan worden met de hier relevante conclusies.

Berekend werden alle hoofdeffecten en interacties. Er bleek geen reden te zijn om systematische interacties aan te nemen. Dit feit is van uitermate groot belang. Want in de eerste plaats volgt hieruit, dat de in deze proef uitgevoerde voorlopige bewerking welke op additiviteit van de effecten der verschillende factoren berust, juist is geweest. Maar bovendien blijkt eruit, dat deze additiviteit, die in alle voorgaande gevallen, waar de ermede berekende vereffende waarden de experimentele gegevens in voldoende mate dekten niet als onaannemelijk verworpen behoefde te worden, in een zeer nauwkeurig opgezet en uitgevoerd en speciaal daarvoor ontworpen onderzoek ook inderdaad aanwezig is. En voorts, dat de toename van het humusgehalte geen verband houdt met het slibgehalte zodat de evenwijdige verplaatsing van de humussliblijnen bij wijziging van de toevoer van organische stof experimenteel bevestigd wordt.

Daarna werd onderzocht of de effecten der 3 onafhankelijke variabelen weer te geven waren door vergelijkingen van de volgende vorm

$$y_a = a_1 + a_2 t + a_3 t^2 + a_4 t^3$$

of dat de derdegraadsterm of eventueel de tweedegraadsterm hieruit mocht worden weggelaten. Gevonden werd, dat de eerste factor (slibgehalte) weer te geven was door een tweedegraadsfunctie, de tweede (wortels) door een eerstegraads en de derde ( $X_3$ ) door een tweedegraadsfunctie. Dit is in overeenstemming met wat ook reeds bij de voorlopige bewerking op pag. 69 bleek, n.l. dat de invloed van slib en  $X_3$  bij hogere trappen sterker stijgt dan bij lagere.

Evenwel is de invloed van de tweedegraadsterm niet groot, en kan deze voor onderzoeksdoeleinden en praktisch werk bij een beperkte variatie in intensiteit der factoren worden verwaarloosd. Daardoor ontstaan dus – bij benadering – lineaire verbanden. Dit is in overeenstemming zowel met het gevonden lineaire verband tussen humus- en slibgehalte als met de humusformule. Dit laatste blijkt uit

$$y = \frac{K_1}{K_2} (1 - e^{-K_2 t}) x + y_0 e^{-K_2 t};$$

bij gelijkheid der parameters bestaat een lineair verband tussen  $y$  en  $x$ . Behalve dat een lineair verband op zichzelf wederom een vorm van additiviteit is, wordt hierdoor ook de constantheid – bij benadering – der parameters aangetoond.

De eerstegraadsfuncties zijn

$$y_A = 1,030 + 0,257 t_A$$

$$y_B = 1,456 + 0,086 t_B$$

$$y_C = 0,969 + 0,281 t_C$$

De hiermede vereffende waarden zijn precies gelijk aan die, welke op pag. 70 verkregen werden met de daar uitgevoerde lineaire vereffening (ook de coëfficiënten der  $t$ 's werden daar reeds gevonden) welke toen eveneens beschouwd werden als voor praktisch werk een voldoende nauwkeurige benadering te geven.

Ook ir. VENEKAMP vond dat een bewerking met de werkelijke slibgehalten in plaats van de aequidistante trappen  $A_1$  tot  $A_4$  geen wezenlijke verbetering gaf.

De resultaten van dit onder streng geconditioneerde omstandigheden uitgevoerde onderzoek met de daarop toegepaste wiskundige bewerking vormen een stevig bewijs voor de juistheid – zij het bij benadering, maar een benadering welke voor praktisch werk toelaatbaar is – van de in het voorgaande gemaakte veronderstellingen inzake de constantheid der parameters, de additiviteit en de gelijkheid der formules bij wisselend slibgehalte.

## 5 EXPERIMENTEEL GEDEELTE II

De andere proef (VP. 73) was juist tegengesteld aan de vorige doordat een kleigrond werd gesplitst in zijn componenten.

De grond was een kleigrond afkomstig van Stedum, aangevoerd in 1941 en in een houten afgesloten bak bewaard tot 1950.

Hoeveelheden van omstreeks 1,7 kg van deze grond werden met water aangemengd, waarbij alle aggregaten werden fijn gewreven en vervolgens opgeslibd in een cylinder met een inhoud van 42 l en een hoogte van 45 cm. Na ruim een half uur bezinken (deze hoogte en tijd werden gekozen als ruwe benadering van uit de wet van Stokes te berekenen waarden, nodig voor de nagestreefde splitsing in fracties) werden de bovenste 40 cm van de vloeistof overgeheveld in teilen van 60 l. Na een etmaal staan werd het dan bijna heldere water weer van het bezinksel gescheiden en gebruikt voor het opslibben van een nieuwe hoeveelheid grond. Deze bewerking werd  $10 \times$  herhaald, zodat in totaal ongeveer 17 kg grond werd gebruikt.

Om het zand in het uit de cylinder verzamelde bestanddeel nog verder van fijnere fracties te bevrijden werd de volledige hiervoor beschreven bewerking nogmaals hierop toegepast. Het hierbij gewonnen slib werd toegevoegd aan dat bij de eerste serie van 10 overhevelingen verkregen.

De aldus gescheiden fijnere en grovere fracties werden in de stoof gedroogd. De 'klei' droogde moeilijk. Een 2,5 cm dikke kleisuspensie bleek 5 dagen nodig te hebben om te drogen; na droging werd de grond vermalen. Het grovere deel droogde snel. Het vertoonde de merkwaardigheid, dat het bovenste laagje opdroogde als 'klei'. Dit scheurde tot schilfers, welke omkrulden en gemakkelijk te scheiden waren van het zand. Daar er nog wat zand aankleefde, werden ze verzameld, bevochtigd en weer geslibd. Beide fracties werden na drogen en vermalen toegevoegd aan resp. zand en klei.

Het zand was ook in gedroogde toestand vrij los en gemakkelijk fijn te wrijven. Het werd echter ook gemalen.

In totaal werd verzameld 7,57 kg droog zand en 6,50 kg droge klei, tezamen 14,07 kg. De 17 kg grond met 13,2% vocht bevatten 14,76 kg. Er is dus in de totale bewerking verloren gegaan 0,69 kg of 4,7 % van het uitgangsmateriaal.

De volumina van zand en klei, los gestort, waren 5,86 l en 6,77 l zodat de volumengewichten bedroegen 1,29 en 0,96.

Vervolgens werd 10 kg grond fijngezeven, opgeslibd, na 4 dagen staan het water afgehevelde, en de grond gedroogd en gemalen (hierbij ging evenveel water met opgeloste bestanddelen verloren als bij 10 kg grond in het scheidingsproces). Teruggewonnen werd 8,15 kg droge grond, zodat tijdens de bewerking 6% verloren ging.

Tenslotte werd 10 kg grond gedroogd en gemalen. Hiervan werd verkregen 8,30 kg droge grond zodat 4% verloren ging. De gewichtsverliezen ontstaan dus bij het malen en niet bij het scheidingsproces.

De volumina van de beide laatste verkregen hoeveelheden grond waren resp. 7,69 en 8,15 liter. De volumengewichten – los gestort – bedroegen dus 1,06 en 1,23.

Bij analyse bleken de 4 geprepareerde gronden de volgende opbouw te hebben:

	<i>zand</i>	<i>afslibbaar</i>	<i>humus</i>	<i>CaCO<sub>3</sub></i>
I zand	86	13	1,2	0,14
II klei	12	83	4,5	0,21
III grond geslibd	53	44	2,5	0,14
IV grond niet geslibd	53	44	2,7	0,14

(N.B. aangetekend zij, dat het zand in de oorspronkelijke grond bestaat uit 1,5% grof zand >90 micron en 51,5% fijn zand <90 micron).

Door het slibben is er dus aan de grond in dit opzicht niets veranderd.

De scheiding is niet volledig, wat bij een nog tamelijk ruwe werkwijze ook niet te verwachten is, maar hij heeft toch twee sterk tegengestelde gronden opgeleverd. Zij bevatten beide nog slechts 12 à 13% van de 'verkeerde' fractie.

Ten aanzien van het humusgehalte beschikken wij over 2 vergelijkingen met 2 onbekenden, als wij dat van de zand- en de kleifractie resp.  $x$  en  $y$  noemen:

$$0,86x + 0,13y = 1,2$$

$$0,12x + 0,83y = 4,5$$

De oplossing hiervan is  $x = 0,59$  en  $y = 5,34$ .

Controle hiervan op de niet gesplitste grond levert op  $0,53 \times 0,59 + 0,44 \times 5,34 = 2,66$ , terwijl gevonden werd 2,5 en 2,7. Wij zien dus, dat de kleifractie een 9x zo hoog humusgehalte heeft als de zandfractie. Voorts, dat de humus in zodanige mate aan de beide fracties gebonden is, dat hij bij scheiding van de fracties restloos daarin meegaat. De mogelijke tegenwerping, dat nog niet bewezen is, dat de humus niet op zichzelf bestaat, dus zonder enige binding en met eenzelfde fractieverdeling als de minerale bodembestanddelen is reeds daarom onjuist, dat de humus een ander en kleiner s.g. heeft en dus bij de toegepaste scheiding sterker in de kleifractie vertegenwoordigd zou moeten zijn. Of zelfs, daar het s.g. van humus in de buurt van 1 ligt, zou een gedeelte blijven zweven, dus in het geheel niet bezinken en dus met het water verloren gaan; het zou dan niet kwantitatief teruggewonnen kunnen worden.

Er is dus een binding tussen de humus en de minerale fracties, in het midden latende of deze binding van chemische of andere aard is, en de humusgehalten in zand en in klei zijn in de ongesplitste grond dezelfde als na verdeling in de beide fracties (N.B. aangetekend zij, hoewel daarop in dit verband niet verder zal worden ingegaan, dat de 'zandhumus' 3,9 en de 'kleihumus' 5,9 % stikstof bevatte en dat er ook in andere opzichten verschillen zijn).

De 4 gronden werden ingebracht in potten op 20-12-1950 en zijn verder ieder jaar begroeid geweest. Er werden grondmonsters genomen in december 1953 en maart 1962. De achtereenvolgende humusgehalten waren:

	1950	1953	1962
zand	1,2	1,6	1,9
klei	4,5	5,0	5,4
geslibd	2,5	3,0	3,2
ongeslibd	2,7	3,1	3,4

De humusgehalten stijgen, echter in alle objecten even sterk. De verticale verschuiving naar boven van de lijnen in fig. 3 wordt dus wederom bevestigd.

In 1962 wordt op dezelfde wijze als boven een humusgehalte in zand berekend van 1,25 en in klei van 6,33. Ingevoegd in de ongesplitste gronden levert dit op 3,4, wat weer in goede overeenstemming is met wat gevonden wordt.

Dit zo zijnde mogen de 4 gronden gezamenlijk bewerkt worden volgens de methode van vereffening van indirecte waarneming van 2 variabelen. Voor de 3 achtereenvolgende jaren wordt nu gevonden:

	humus in	
	zand	klei
1950	0,56	5,31
1953	0,94	5,86
1962	1,17	6,26

Deze beide reeksen op de gebruikelijke wijze met de humusformule bewerkende wordt verkregen:

	zand	klei	$H$ in klei- $H$ in zand
vereffende waarde 1950	0,67	5,45	4,78
vereffende waarde 1953	0,80	5,68	4,88
vereffende waarde 1962	1,20	6,30	5,10
$y_m$	6,5	13,5	7,00
$K_2$	0,00803	0,00928	

De vereffende waarden brengen de objecten op (met tussen haakjes de afwijkingen van de gevonden waarden)

	1950	1953	1962	$y_m$
zand	1,29 (—0,09)	1,43 (+0,17)	1,84 (+0,06)	7,4
klei	4,60 (—0,10)	4,81 (+0,19)	5,37 (+0,03)	12,0
geslibd	2,75 (—0,25)	2,92 (+0,08)	3,41 (—0,21)	9,4
ongeslibd	2,75 (—0,05)	2,92 (+0,18)	3,41 (—0,01)	9,4

Hoewel 3 punten per serie voor deze bewerking zeer weinig is, is het toch aangedurfd, omdat elk punt berekend is uit het gehele samenstel van 12 waarnemingen. De uitkomst rechtvaardigt de werkwijze. Het jaar 1953 ligt over de gehele linie te hoog, wat ook in de oorspronkelijke gehalten reeds te zien is.

Het verschil in humusgehalten tussen klei en zand stijgt en blijkt nog verder te stijgen. Daar uiteindelijk dit verschil gelijk is aan het verschil in  $y_t$ , blijkt dat in de oorspronkelijke grond de  $y_t$  nog niet volledig was opgebouwd. Dit verklaart ook de zeer lage  $K_s$ : door die opbouw wordt minder humus afgebroken daar nog humus be-

FIG. 5. Humusgehalten in noordelijke kleigronden op verschillende niveaus en in afhankelijkheid van de gehalten aan afslibbare delen

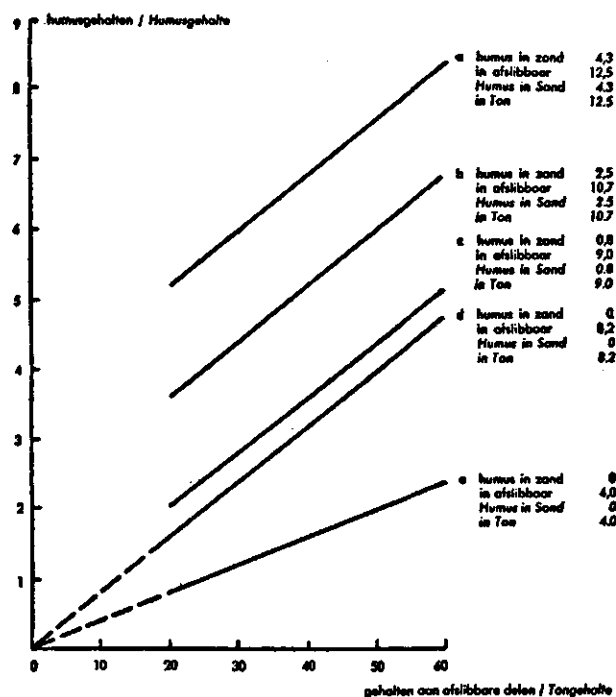


FIG. 5. Humusgehalte in nördlichen Tonböden auf verschiedenen Höhen in Abhängigkeit der Tongehalte



nodig is voor de aanvulling tot de aan beide componenten inhaerente  $y_1$ . In het evenwicht is het verschil tussen beide 7,00, terwijl als gemiddelde daarvoor op pag. 79 voor een aantal gronden 8 wordt gevonden, hetgeen een goede overeenstemming genoemd mag worden.

Tijdens de opbouw van  $y_1$ , is dus de verschuiving niet precies horizontaal en is de afbraak laag.

De niet evenwijdige verschuiving herinnert aan de onderste lijn in fig. 5. Overigens blijkt, dat het verschil in helling van de 3 humussliblijnen (in 1950, 1953 en 1962) zo gering is, dat voor praktisch werk de lijnen bij benadering als evenwijdig kunnen worden beschouwd. Dit impliceert, dat voorgaande beschouwingen als gelijkheid van het quotiënt  $K_1/K_2$  voor alle slibtrappen ook bij benadering juist zijn. Dit laatste zelfs in zoverre, dat het in de meeste gevallen moeilijk zal zijn de nietgelijkheid wiskundig betrouwbaar vast te stellen.

Daar in de evenwichtstoestand het verschil in humusgehalte gelijk is aan het verschil in  $y_1$  zal, zelfs als dan  $y_1$  in zand 0 zou zijn, deze in slib 7 bedragen, dus nog meer dan het humusgehalte in slib thans bedraagt. In hoeverre de tegenwoordige humus inert is of actief is niet bekend. Uit de lage  $K_2$  (deze is ongeveer de helft van normaal) kan men, zoals boven werd aangevoerd, afleiden, dat inderdaad een groot gedeelte van deze humus inert is. Indien dit zo is, kunnen de wezenlijke humusfuncties, welke ook een regelmatige afbraak van enige omvang inhouden, eerst volledig aan de dag treden zodra  $y_1$  zijn uiteindelijke waarde heeft bereikt.

Dan zal ook  $K_2$  een andere en hogere waarde verkrijgen dan thans. Daar het niet wel aan te nemen is, dat deze verandering sprongsgewijze zal optreden bij het bereiken van  $y_1$ , maar veeleer een geleidelijk toegroeien naar die situatie moet worden verwacht, is het toepassen van de humusformule gedurende deze aanlooperperiode niet juist. Waar een lage  $K_2$  (aanzienlijk lager dan 0,02) gevonden wordt, moet men hierop bedacht zijn: dan is vermoedelijk  $y_1$  nog niet op peil.

## 6 BESPREKING

Gebleken is, dat als de voorziening met organische stof gelijk is, er in minerale gronden bij stijgend slibgehalte een daaraan zo goed als evenredige stijging van het humusgehalte optreedt (met enkele nog niet verklaarde uitzonderingen in de vorm van horizontale lijnstukken en een geknikte lijn).

Voorts is gebleken, dat bij verhoging van de voorziening met organische stof een verhoging van de humusgehalten optreedt, weer te geven door een zo goed als evenwijdige verplaatsing van de humussliblijnen volgens de humusformule.

De eerste conclusie werd verklaard door verschillende, maar voor elk der beide componenten constante, humusgehalten in zand en slib, de tweede door gelijkblijvende waarden van de parameters  $K_1$  en  $K_2$  (of althans van hun quotiënt) bij variërend slib-

gehalte. Het verband tussen humus- en slijbgehalten ontstaat dus door een even sterk verband tussen  $y_1$  en de slijbgehalten.

Gaan wij het verband tussen de gehalten aan humus en slijb na in de lijnen van fig. 3 en die van Pr. 1254 in 1952, dan wordt (door extrapolatie van de lijnen tot slijbgehalte 0 en zandgehalte 0), indien de horizontale takken als nog onverklaarbaar worden weggelaten, gevonden

	<i>A</i> <i>Humus in klei</i> <i>in % van klei</i>	<i>B</i> <i>Humus in zand</i> <i>in % van zand</i>	<i>A-B</i>
1. Hollandse droogmakertjen	12,5	4,2	8,3
2. N. Hollands zeekleigebied	10,7	2,5	8,2
3. Noord. zeekleigebied 20-60% slijb	9,0	0,8	8,2
4. Z.w. zeeklei en rivierklei 20-50% slijb	7,8	1,8	6,0
5. Z.w. zeeklei en rivierklei > 60% slijb	10,0	-3,2	13,2
6. Pr. 1254	6,0	1,0	5,0

Zoals de tabel aangeeft, wordt voor de hoogste tak van 5 voor zand een negatieve waarde gevonden, daar deze lijn de ordinaat onder de oorsprong snijdt. Ook dit is niet verklaarbaar.

Wordt  $A - B$  gemiddeld over de 6 gevallen dan wordt hiervoor gevonden 8,2. Zeer globaal kan dus gezegd worden, dat in gronden, waarin zand en slijb gemengd voorkomen, bij slijbgehalten variërend van 20 tot 60% het humusgehalte in de slijbfractie 8 eenheden hoger is dan de in zandfractie.

De verticale verplaatsing der lijnen verloopt volgens de humusformule. Organische bemesting heeft dus bij alle zwaarten van de gronden hetzelfde effect op  $y_a$  (de actieve humus), terwijl  $y_1$  met de zwaarte samenhangt. Als  $y_1$  volledig is opgebouwd, wordt een toename in humusgehalte gelijkelijk over zand en slijb verdeeld. Dit hangt samen met de evenwijdige verschuiving van de humusslijblijnen, daar de toename onafhankelijk is van de verhouding zand : slijb.

Het gehele samenstel kan nu op eenvoudige wijze in formule duidelijk gemaakt worden. Is het slijbgehalte  $a$  en het zandgehalte  $1 - a$ , het humusgehalte van zand  $b$  en van slijb  $b + c$ , dan is het totale humusgehalte  $a(b + c) + (1 - a)b = ac + b$ . Stijgt nu het humusgehalte met  $d$  dan wordt het humusgehalte in slijb  $(b + c + d)$  en in zand  $(b + d)$  dus het totale humusgehalte  $a(b + c + d) + (1 - a)(b + d) = ac + b + d$ . De helling van de lijn is dezelfde gebleven, n.l.  $c$ , en de lijn is slechts over de afstand  $d$  verticaal naar boven verschoven.<sup>1</sup>

Het verband tussen de gehalten aan humus en slijb is dus teruggebracht tot een hoger

<sup>1</sup> Deze voorstelling van zaken is niet geheel juist, daar slijb en zand niet alleen, maar tezamen met humus en kalk gelijk aan 100 zijn, terwijl bij verandering van het humusgehalte de andere gehalten iets moeten veranderen, opdat zij samen 100 blijven. De hierdoor teweeggebrachte afwijkingen zijn evenwel gering en tasten het betoog en het totaalbeeld niet aan.

uitgangshumusgehalte van slib, indien er geen toevoer van organisch materiaal is, dus een hogere  $y_1$ .

Er is een schijnbare tegenspraak tussen de conclusie, dat  $y_1$  in klei hoger is dan in zand en het resultaat, weergegeven in de tabel op pag. 59, waar de beide zandgronden juist de hoogste  $y_1$  hadden. Deze beide zandgronden zijn echter esgronden, waarin een hoog humusgehalte is opgebouwd door plaggen- en potstalbemesting, welk humusgehalte zich in dalende richting beweegt. Zoals op pag. 56 aannemelijk werd gemaakt, daalt wel de humusvoorraad maar niet de koolstofvoorraad, zodat het koolstofgehalte van de humus stijgt.

In een normale zandgrond, waarin de humusvoorraad in opbouw is of althans voorheen niet boven het bestaande evenwicht is uitgekomen is dit niet het geval en moet verwacht worden, dat  $y_1$  in overeenstemming is met de thans daarvoor gevonden lagere waarden dan in klei. Gezocht wordt naar een voorbeeld, waarin deze verwachting geverifieerd kan worden.

Indien  $y_1$  in klei een ander karakter zou hebben, dan die in PO. 168, waarin deze uit elementaire koolstof bestaat, of wanneer, algemeen uitgedrukt  $y_1$  betekenis heeft voor de vruchtbaarheid van de grond, dan is dit bij zandgronden toe te passen door een hoger humusgehalte na te streven door behalve organische bemesting bekleiing toe te dienen. Deze klei zal een hogere  $y_1$  reeds hebben of door de organische bemesting eerst opbouwen en daardoor het humusniveau verhogen. Op deze wijze betekent in VPr. 184 één procent slib een even grote verhoging van het humusniveau als verkregen wordt door een jaarlijkse gift van 280 kg wortels. Of, praktischer uitgedrukt een verhoging van het slibgehalte met 5 gewichtsprocenten van de grond – eenmalig – zou door verhoging van  $y_1$  het humusgehalte tot eenzelfde peil brengen als een jaarlijkse toediening van 10 ton stal mest.

De schaarse literatuur op dit punt, samengevat in (19) geeft steun aan de opvatting, dat het humusgehalte van lichte gronden op deze wijze te verhogen is. De samenhang met de bodemvruchtbaarheid is echter niet duidelijk, daar omtrent het karakter van  $y_1$  te weinig bekend is (overigens zal bekleiing ook door wijziging van andere bodemkundige grootheden invloed op de vruchtbaarheid kunnen uitoefenen).

In de tabel op pag. 79 ziet men, dat voor de in fig. 3 door 3 evenwijdige lijnstukken voorgestelde gronden het verschil in humusgehalte tussen de zand- en de slibcomponent 8,2 bedraagt. Volgens de formule (zie pag. 79)  $\text{Humus} = ac + b + d$  is dus  $c = 8,2$ . De  $b + d$  in deze formule, het humusgehalte in zand, ziet men achtereenvolgens bedragen 4,3 – 2,5 en 0,8. Wanneer  $d$  terugloopt tot 0 blijft  $b$ , of wel de  $y_1$  voor zand over. Hoeveel deze bedraagt is niet bekend. Laten wij ook  $b$  nul worden – waarmee zeker te ver gegaan wordt – dan wordt de formule teruggebracht tot  $H = 8,2a$ . Nu is het humusgehalte van klei 8,2, van zand 0 en van de grond bij b.v. 40% slib 3,3 (dus 56,7% zand).

Daalt het humusgehalte nu verder, dan kan humus in zand niet verder dalen, humus in klei wel. Daalt het laatste tot 4, dan wordt de formule  $H = 4a$  en krijgt de lijn een geringere helling. Deze situaties zijn uitgebeeld in fig. 5.

Bij de kleigronden tussen en beneden de grote rivieren is het verschil in humusgehalte tussen zand en slib kleiner dan in de overige kleigebieden. Zo is dit verschil (zie tabel pag. 79) 6 voor het zuidwestelijk zeeklei- en het rivierkleigebied en 5 voor de rivierklei van Pr. 1254.

De binding tussen humus – de actieve zowel als de inerte – en de beide componenten zand en slib is zo hecht, dat bij de scheiding der componenten, deze 'hun' humus behouden, en deze zelfs niet bij langdurig opslibben in water daaruit verloren gaat.

## IV TOEPASSING BIJ VERSCHILLENDE VORMEN VAN ORGANISCHE STOF

### 1 INLEIDING

De ontwikkelde theorie met de daaruit voortvloeiende humusformule hield de mogelijkheid in van algemene geldigheid, maar met ongelijke waarden van de parameters voor verschillende grondsoorten, voor verschillende bronnen van organische stof (en verschillende klimatologische omstandigheden). Het is gebleken, dat de grondsoorten wijziging brengen in  $y_1$ , de later aan de formule toegevoegde parameter, maar dat hoogstwaarschijnlijk de andere parameters  $K_1$  en  $K_2$  daarvan geen of hoegenaamd geen wijziging ondergingen.

Ten aanzien van de bronnen van organische stof kwam eveneens naar voren, dat de parameters  $K_1$ ,  $K_2$  en  $y_1$  ongewijzigd bleven (althans niet sterk gewijzigd werden) bij alle in de voorgaande hoofdstukken ter sprake komende vormen als stalmest, wortels en stoppels, groenbemesting. In dit hoofdstuk echter zullen enkele vormen van organische bemesting gezien worden, welke zich door hun bijzondere samenstelling niet zonder meer gedragen volgens de uit de ontwikkelde theorie voortvloeiende verwachtingen.

Er zullen problemen blijken te bestaan, waarvoor de oplossing nog niet is gevonden. Dit maant tevens tot voorzichtigheid ten aanzien van de toepassing van de formule ook voor nog niet in dit opzicht bestudeerde afwijkende grondtypen.

### 2 STADSVUILCOMPOST EN HUMUSVORMING

De opbouw van humus uit organisch materiaal (i.c. wortels) in een grond waarin zich stadsvuilcompost – maar oorspronkelijk geen humus – bevindt wordt zichtbaar gemaakt in de reeds in (23) op pag. 18 beschreven potproef VPr. 160. Deze proef loopt sedert 1947/48 en bestaat uit glaszand, gemengd met 5 hoeveelheden stadsvuilcompost, n.l. 100–600–1100–1600–2100 g per pot (en dienovereenkomstig dalende hoeveelheid zand).

Uit de mengverhoudingen en de samenstelling van de compost was de samenstelling in de uitgangstoestand bekend. Deze en de latere humusbepalingen volgens de gloei-verliesmethode zijn samengevat op pag. 83.

De hier geconstateerde in de objecten ongelijke humusopbouw is uitsluitend afkomstig van wortels en zeer korte stoppels. De potten hebben een diepte gelijk aan een gemiddelde bouwvoor, n.l. 20 cm. Alle wortels blijven evenwel hierin. Ieder, die wel eens wortels uit potten heeft uitgespoeld, weet, dat dit in een klein bestek grote hoeveelheden zijn. Hoe de wortelhoeveelheden zich zullen uiten in de  $x$  is onbekend.

	100	600	1100	1600	2100	gem.	id. vereffend
1947							
Gloeiverlies	0,3	1,7	3,3	5,1	7,3	3,5	
w.v. kool	0,2	1,2	2,4	3,7	5,3	2,5	
w.v. org. stof	0,1	0,5	0,9	1,4	2,0	1,0	1,10
1951	0,4	1,0	2,1	2,4	2,9	1,8	1,71
1956	0,6	1,2	2,3	4,0	4,2	2,5	2,41
1959	0,6	1,7	2,7	3,7	4,8	2,7	2,80
1961	0,8	2,0	2,2	4,7	5,2	3,0	3,05

De bovengrondse delen hebben invloed van de composttrappen te zien gegeven en niet steeds dezelfde. Of de wortelmassa's hieraan evenredig zijn is niet bekend. Men is eerder geneigd deze evenredigheid te velde te veronderstellen dan in potten, welke steeds geheel en grondig doorworteld kunnen worden. Dus of de compostinvloed gaat via vergroting van  $x$ , en/of vergroting van  $K_1$  en/of verlaging van  $K_2$ , vaststaat dat de compost, ook nog jaren na de toediening, stimulerend werkt op de humusvorming. Opmerkelijk is in dit verband, dat zodra het humusgehalte op een zekere composttrap het initiële peil van de naasthogere trap bereikt heeft, het dan niet in het tempo van die naasthogere trap gaat verder stijgen, maar in zijn eigen, tragere tempo doorgaat.

Deze stimulerende werking is reeds beschreven door KORTLEVEN (16) op pag. 15, waarin in een veldproef in de periode tussen  $1\frac{1}{2}$  en  $4\frac{1}{2}$  jaar na toediening van stalmest en compost deze nog sterk humusvermeerderend werkten, n.l. gaande tot 0,7 en 0,8 eenheid humus in 3 jaar tijd. De stimulerende werking blijkt samen te hangen met de hoogte van de compostgift (evenals in het zojuist geciteerde geval, toen evenwel – het was in 1950 – de conclusie nog niet volledig aangedurfd werd).

De jaargemiddelden over de objecten werden op de gebruikelijke wijze vereffend. Er kan twijfel bestaan, of voor het gehalte in 1947 het werkelijke gehalte moet worden genomen, of dat dit eerst met een geschatte  $K_1$  vermenigvuldigd moet worden. Immers, de organische stof in compost behoeft niet identiek te zijn met bodemhumus. Tenslotte is voor 1947 het werkelijke gehalte aan organische stof (dus zonder de huisbrandkool) genomen, daar de hoeveelheden klein zijn en de compost althans een gedeelte reeds resistente humus bevat. Geheel juist is het echter vermoedelijk niet.

Deze vereffening leverde op  $y_m = 9,5$  met  $K_2 = 0,01885$ . De vereffende waarden zijn in de tabel bijgevoegd. Deze  $K_2$  is goed in overeenstemming met de tot dusverre steeds daarvoor gevonden waarden.

De berekende  $y_m = 9,5$  is de gemiddelde voor de 5 objecten. Door per object  $y_m$  evenredig aan de gemiddelden per object (na een vereffening op het oog) over de jaren 1951 t/m 1961 te stellen wordt verkregen:

Object	(0)	100	600	1100	1600	2100
$y_m$	(2.24)	2,77	5,62	9,01	12,73	17,14
$K_2$		0,01887	0,02302	0,01874		0,01795

Met deze  $y_m$  wordt de  $K_s$  per object, zoals in de laatste rij is aangegeven, dus in alle objecten gelijk (1100 en 1600 zijn tezamen genomen vanwege de afwijkingen).

Aan de hand van de uitkomsten kunnen nu de vereffende waarden en hun waarnemingsfouten berekend worden:

	100	600	1100	1600	2100	<i>som der afwijkingen</i>
1947	0,1	0,5	0,9	1,4	2,0	
1951	0,5 (—0,1)	1,0 ( 0,0)	1,6 (+0,5)	2,3 (+0,1)	3,1 (—0,2)	+0,3
1956	0,7 (—0,1)	1,4 (—0,2)	2,3 ( 0,0)	3,2 (+0,8)	4,4 (—0,2)	+0,3
1959	0,8 (—0,2)	1,7 ( 0,0)	2,7 ( 0,0)	3,8 (—0,1)	5,1 (—0,3)	—0,6
1961	0,9 (—0,1)	1,9 (+0,2)	2,9 (—0,7)	4,1 (+0,6)	5,5 (—0,3)	—0,3
	—0,5	—	—0,2	+1,4	—1,0	—0,3

De uitkomsten zijn zo bevredigend, dat de juistheid van de gevonden  $K_s$  moet worden aangenomen (evenals de gelijkheid van  $K_s$  in alle objecten). Of met andere woorden, het stimulerende effect van de compost op de latere humusvorming uit wortels wordt, daar  $K_s$  een volkomen normale waarde heeft, niet veroorzaakt door een vermindering van de afbraaksnelheid van de humus. De stimulerende werking moet dus berusten óf in  $K_{1x}$  óf in  $y_1$ . Wat hiervan zij kan thans in deze proef nog niet worden uitgemaakt.

Een ander opmerkelijk feit is het niet terugvinden van de huisbrandkool, welke maakte, dat in 1947 het totale gloeiverlies hoog was. Deze kool schijnt geheel verdwenen te zijn.

Precies zo'n geval deed zich voor in VPr. 165, beschreven in (23) pag. 151 e.v., eveneens een potproef, opgezet in 1948/49. Hierin werd glaszand gemengd met 100–200–400–800–1600–3200 gram ongebroeide raspcompost, alles in viervoud. Slechts bij het opheffen van de proef in 1953 werd per pot grondonderzoek verricht. De gehalten aan organische stof waren:

	0	100	200	400	800	1600	3200
1948 gloeiverlies	—	0,33	0,69	1,45	3,02	6,68	17,45
w.v. huisbrandkool	—	0,28	0,58	1,22	2,54	5,62	14,68
en organische stof	—	0,05	0,11	0,23	0,48	1,06	2,77
1953	0,40	0,65	0,88	1,05	1,73	3,80	14,35

Daar de vier herhalingen goed met elkaar overeenstemmen, behoeft aan de hoge waarde voor het object 3200 niet getwijfeld te worden. Ook hier is een stimulerende werking van compost op de humusvorming en ook hier valt op het niet terugvinden van de huisbrandkool. In een aantal objecten zijn in 1951 bij de eerste werkelijke gloeiverliesbepalingen (de waarden voor 1947 en 1948 zijn n.l. berekend uit de

mengverhouding en de samenstelling) de gehalten lager dan oorspronkelijk die voor kool alleen. Dit betreft in VPr. 160 de objecten met 600 g compost en meer per pot en in VPr. 165 die met 400 g en hoger, terwijl in het laatste geval het verschil voor 3200 g slechts zeer gering is.

Enig inzicht in de kwantitatieve zijde van dit vraagstuk wordt geleverd door de volgende proef doordat hier vergelijking met stalmest mogelijk is. Deze werd genomen op 2 percelen (genummerd 3 en 7) van de proeftuin te Vleuten. Op perceel 3 was voordien reeds de tuinbouw beoefend, echter zonder organische bemesting. Perceel 7 daarentegen was gescheurd grasland, waarop bovendien grote hoeveelheden plant-aardige afval waren gestort (en dit zo goed als zeker niet regelmatig verspreid). De humusgehalten der beide percelen bedroegen dan ook bij het inzetten van de proef 2,6 en 5,3.

Op elk perceel kwam een proef bestaande uit de 3 objecten:

- 1 geen organische bemesting,
- 2 stalmest,
- 3 compost uit stadsvuil en zuiveringsslib; alles in drievoud per perceel.

De giften bedroegen van elk 100 ton per ha in de jaren 1949, 1950, 1953 en 1954 en 150 ton in 1951, voorts 100 ton stalmest in *alle* objecten in 1956 en 1957.

In het object stalmest werd in totaal toegediend 750 ton in 9 jaar. Het gehalte aan organische stof in de stalmest was gemiddeld in de 5 jaren waarin dit bepaald werd 13,7%. Gemiddeld per jaar werd dus aangevoerd 11 400 kg organische stof.

In het compostobject werd gegeven 550 ton compost en 200 ton stalmest. Deze compost bevatte gemiddeld (in de 4 jaren waarin werd geanalyseerd) 22,6% aan gloeiverlies, waaronder echter 16,8% huisbrandkool, dus slechts 5,8% van wat door het Proefstation te Maastricht betiteld wordt als nuttige organische stof.

Daar er onzekerheid heerst inzake de vraag, wat er met de huisbrandkool – incl. eventueel tijdens de broei verkoolde organische stof – gebeurt in de grond, is de bijdrage aan organisch materiaal moeilijk te bepalen. Omdat, zoals blijken zal, de humusgehalten zich ontwikkelen gelijk aan die in de stalmestobjecten, wordt afgezien van de berekening van de aanvoer aan organisch materiaal in de compost. De bewerkingen ter berekening van parameters, waarvoor de  $x$  in de humusformule geschat moet worden, zullen dus worden uitgevoerd met de aanvoer in stalmest.

De aanvoer door middel van wortel- en stoppelresten<sup>1</sup> is bij deze tuinbouwgewassen laag. Door de leider van de proef, ir. KNOPPIEN, werd van de verbouwde gewassen prei beschouwd als nog het meeste te leveren. Daar er 2, soms 3, teelten per jaar waren wordt de gemiddelde jaarlijkse wortelproductie geschat op 1200 kg per ha.

De bewerkingsdiepte was 22,5 cm, zodat de bouwvoor op deze zware grond (met 38% afslibbaar) gesteld mag worden op 3 mil. kg.

Dit brengt de  $x$  op 0,04 in de controle en 0,42 in object 2.

De humusgehalten werden steeds in de winter bepaald (via humus 1st), vóór de

<sup>1</sup> Oogstresten en onkruiden werden zorgvuldig verwijderd.



volgende gift. De jaren worden aangegeven met het jaartal, behorende bij het voorjaar.

Perceel	object	1949	1950	1951	1953	1955	1957	1958
3	1	2,6	2,4	2,4	2,5	2,6	(2,9)	(3,0)
3	2	2,7	2,6	2,7	3,0	3,4	3,8	3,6
3	3	2,6	2,6	2,8	2,9	3,8	4,3	3,7
7	1	5,3	4,6	4,2	4,1	4,1	(4,6)	(4,3)
7	2	5,2	4,8	4,7	4,9	5,4	5,7	5,4
7	3	5,5	4,7	4,6	5,1	5,5	5,7	5,2

De bewerking werd toegepast op:

- A. Het gemiddelde van de objecten 2 en 3 van beide percelen.
- B. Het gemiddelde verschil tussen de objecten 2 en 3 en de bijbehorende controle van beide percelen. Dit is slechts voor 5 jaren mogelijk. De verschillen geven weer het effect van de stalmest c.q. compost.
- C. Het gemiddelde van de objecten 2 en 3 van perceel 3.
- D. Idem van perceel 7.

De uitkomsten waren:

	$y_0$	$y_m$	$K_s$
A	3,68	7,30	0,037
B	-0,01	5,60	0,038
C	2,50	7,30	0,039
D	4,86	7,30	0,034

Beide percelen hebben dezelfde  $y_m$  voor de objecten 2 en 3. Door B van A af te trekken ontstaat  $y_m$  voor object 1, n.l. 1,70. Ook deze wordt naar analogie van de gelijkheid van  $y_m$  in de andere objecten gelijk aangenomen voor de beide percelen.

De  $K_s$  is in alle bepaalde gevallen vrijwel gelijk, en hoog. Voor het gehele materiaal wordt het gemiddelde 0,037 aangenomen.

Door de met deze parameters te berekenen vereffende waarden voor A te verminderen met die voor B ontstaan de vereffende waarden voor object 1. Deze worden evenzo berekend voor de jaren 1957 en 1958 alsof hier geen stalmestbemesting had plaats gehad. De vereffende waarden bedroegen:

Perceel	object	1949	1950	1951	1953	1955	1957	1958
3	1	2,51	2,48	2,45	2,39	2,34	(2,29)	(2,27)
3	2 en 3	2,50	2,68	2,84	3,16	3,46	3,74	3,87
7	1	4,87	4,76	4,64	4,43	4,23	(4,04)	(3,95)
7	2 en 3	4,86	4,95	5,03	5,20	5,35	5,49	5,55

Dit geeft de volgende correcties:

Perceel	object	1949	1950	1951	1953	1955	1957	1958	
3	1	-0,09	+0,11	+0,02	-0,11	-0,23	(-0,58)	(-0,60)	-1,48
3	2	-0,20	+0,11	+0,17	+0,19	+0,03	-0,09	+0,27	+0,48
3	3	-0,13	+0,05	+0,01	+0,23	-0,34	-0,59	+0,14	-0,63
7	1	-0,46	+0,19	+0,41	+0,33	+0,13	(-0,53)	(-0,35)	-0,28
7	2	-0,34	+0,15	+0,33	+0,27	-0,02	-0,18	+0,12	+0,33
7	3	-0,64	+0,28	+0,46	+0,13	-0,15	-0,21	+0,32	+0,19
		-1,86	+0,89	+1,40	+1,04	-0,58	-2,18	-0,10	-1,39

De totale fout is -1,39 of gemiddeld per waarneming -0,03. Zonder de objecten 1 in 1957 en 1958, die door de stalmestgiften er niet bijbehoren, is de totale fout +0,67 of gemiddeld +0,015. De jaarinvloeden hierop zijn zeer groot.

Worden de  $y_m$ 's (1,70 en 7,30) uitgezet tegen  $x$  (0,04 en 0,42) en op grond van voorgaande gevallen aangenomen dat zij een rechte lijn vormen, dan wordt deze weergegeven door  $y_m = 14,7x + 1,11$ .

Dit betekent dat  $K_1/K_2 = 14,7$  dus  $K_1 = 0,547$ . Ook  $K_1$  is hoog. Voor  $y_1$  wordt de hoge waarde van 1,11 gevonden. Bij  $y_m = 4,2$  is  $y_m = 20x$ .

De hier gevonden  $K_1$  geldt voor stalmest, daar hij is berekend door middel van de voor stalmest berekende  $x$ . Bij de compost zijn  $K_1x$  en  $y_1$  bij benadering gelijk aan die bij stalmest vanwege de gelijkheid van de lijnen, waarbij niet uit te maken valt of er in wezen enig verschil bestaat of niet.

Ten aanzien van  $K_1x$  kunnen wij, daar de giften van beide en het bouwvoorgewicht gelijk zijn, stellen, dat 13,7 eenheden organische stof in stalmest hetzelfde effect hebben op het humusgehalte als 5,8 eenheden in compost + 16,8 eenheden verkoolde bestanddelen. Dit kan betekenen - aannemende, dat de organische stof in de beide meststoffen gelijkwaardig is - of dat van de 16,8 eenheden verkoolde bestanddelen er 13,7 - 5,8 = 7,9 (dus bijna 50 gewichtsprocenten) niet wezenlijk verkoold zijn maar een vorm van organisch materiaal vertegenwoordigen of dat 7,9 eenheden organisch materiaal in invloed op het gloeiverliescijfer gelijkwaardig zijn aan 16,8 eenheden kool. In het laatste geval zou kool bijna half zo werkzaam zijn als organische stof.

Het eerste is niet waarschijnlijk op grond van de volgende berekening. Per inwoner in Nederland wordt per jaar geleverd 0,2 ton vaste afval, dus per 12 miljoen inwoners 2,4 miljoen ton. Hiervan kan 70% compost (de gewone huisvuilcompost, niet de zuiveringsslibcompost als in deze proef gebruikt) worden of 1,68 miljoen ton. Deze bevat tegenwoordig 12% huisbrandkoolstof gemiddeld per jaar. Op grond van deze berekening blijft dus per jaar 0,2 miljoen ton C onverbrand. Verbruikt worden in Nederland per jaar 15,652 miljoen ton steenkool en 0,216 miljoen ton bruinkool of tezamen 16 miljoen ton. Er blijft daarvan dus op grond van de analysemethode van Maastricht 1,25% onverbrand. Dit percentage is in zeer goede overeenstemming met

de werkelijkheid volgens mededeling van de afdeling Warmtetechniek van het Centraal Technisch Instituut T.N.O. De door Maastricht toegepaste methodiek geeft dus inderdaad onverbrande koolresten aan.

Dan blijft dus over de tweede mogelijkheid, dat de kool een kleinere invloed op het gloeiverlies uitoefent dan de organische stof. Deze invloed is in de onderhavige proef 7,9/16,8 of 47% van die van organische stof. Of anders uitgedrukt  $K_1$  voor koolstof is  $0,47 \times$  die van organische stof of  $0,47 \times 0,547 = 0,257$ . Van kool blijft dus de helft minder over dan van organisch materiaal.

Deze feiten zijn in overeenstemming met het herhaaldelijk geconstateerde verdwijnen van de huisbrandkoolstof. Deze verdwijning werd reeds eerder vermoed voor het fermentatieproces, werd geconstateerd in VPr. 160 en 165 en werd ook geconstateerd door DEN DULK (in een ongepubliceerd rapport) en voorts in een aantal eigen veldproeven. Deze laatste, 13 stuks op zand, leverden per ton compost, waarin gemiddeld 80 kg organische stof en 120 kg huisbrandkool, een toename in gloeiverlies van 56 kg.

Uit  $K_1 = 0,547$  voor organisch materiaal en  $K_1 = 0,257$  voor huisbrandkool volgt, dat  $K_1 = 0,331$  voor de slibcompost. Dit brengt de humusformule op  $y_m = 9,0x + 1,11$  als  $x$  betreft het totale gloeiverliescijfer met inbegrip van de kool.

Daar voor de kool  $K_1 = 0,257$ , wat betekent, dat er  $3/4$  van verdwijnt, zijn in PO. 160 en 165 de latere gloeiverlieswaarden in goede overeenstemming met de uitgangshechten door - aannemende, dat hier eveneens  $1/4$  van de kool zal overblijven - bij de gehalten aan organische stof in de uitgangstoestand op te tellen  $1/4$  van de kool en deze som weer te verminderen met wat er van de organische stof tijdens de humificatie verdwijnt. Dit verklaart de geringe afwijking in Pr. 160 tussen de gevonden waarden en die door vereffening verkregen, uitgaande van de 'gehalten' in 1947 als  $y_0$ . Deze  $y_0$ 's waren echter in feite geen gehalten aan humus, maar hoeveelheden organische stof in compost uitgedrukt in % van het gewicht van de inhoud per pot na menging met zand.

### 3 PAPIERPULP EN HUMUSVORMING

Het bestaan van een stikstofinvloed op de humusvorming werd op het spoor gekomen (33) door een onderzoek aangaande een zeer bijzondere organische meststof, namelijk een, welke in het geheel geen stikstof bevat. Het betreft hier de afvalpulp van de papierindustrie, kortweg papierpulp genaamd. Dit produkt bevat op droge stof basis omstreeks 60% organische stof en 40% china-klei. De organische stof is weer verdeeld in 35% cellulose en 25% lignine (op droge stof).

Met dit produkt werden een aantal veldproeven verricht, n.l. Pr. 1509a en b, Pr. 1759 en 1760 (24). In één daarvan werd toegediend 1000 ton natte pulp, waarin 100 ton droge stof, per ha. Hierop werd een zomer lupine verbouwd, (gezaaid begin mei 1954), die bemest werd met 340 kg N per ha als kas, terwijl de lupine zelf ook nog N verzameld kan hebben. In 1955 werden verbouwd voederbieten, welke bemest werden

met N in trappen à 50-75-100-125-150 kg/ha. Verder in 1956 gerst, N: 0-25-50-75-100 kg/ha; 1957 aardappelen 0-50-100-150-200 kg/ha; 1958 rogge 0-25-50-75-100 kg/ha; 1959 gerst 0-15-30-45-60 kg/ha. Deze stikstoftrappen lagen gedurende 1954-1957 op dezelfde plaats, daarna werden zij in 1958 en 1959 telkens opnieuw verloot.

(N.B. de proef is een latijns vierkant van  $5 \times 5$  veldjes).

De humusgehalten waren:

	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
1956 najaar	3,5	3,9	3,7	4,2	4,8
1959 najaar	3,5	3,8	3,9	4,3	4,6

De stikstofhoeveelheden hebben dus een sterke invloed gehad op de hoeveelheid humus, welke uit dezelfde hoeveelheid pulp is ontstaan. Wanneer die invloed begon te werken en wanneer hij afgelopen was, is niet precies bekend. Slechts weten wij, dat het begin niet vroeger kan zijn dan april 1955, toen de eerste gedifferentieerde bemesting werd gegeven, en het einde niet later dan februari 1958, toen voor de eerste maal de N-trappen door elkaar werden geworpen. Deze wijziging had geen invloed meer op de humusgehalten in 1959, welke dan ook gegroepeerd zijn naar de oude indeling.

Het is dus niet precies bekend, hoeveel stikstof invloed op dit effect heeft kunnen hebben. Er wordt zeker geen grote fout gemaakt als de bemestingen van 1955 en 1956 hiervoor tezamen worden genomen. Dit wordt resp. 50-100-150-200-250 kg/ha. De stijging in humus bedraagt per N-trap gemiddeld 0,3 eenheid of 5250 kg humus. Per trap is dus C/N (d.i. toename van C: toename van N) =  $\pm 45$ .

Als wij de door de lupine verzamelde luchtstikstof schatten op 150 kg per ha, terwijl er nog 340 kg N aan werd toegediend, dan zijn de totale hoeveelheden per trap 540-590-640-690-740 kg N. Daar de pulp 33 000 kg C bevatte zijn de C/N quotiënten (C toegediend: N toegediend) 61-57-53-49-45. Dan daalt C/N tot dezelfde waarde als werd berekend uit de toenamen per trap. Deze waarde is evenwel hoog vergeleken bij de C/N in de grond zonder pulp, welke 22,3 bedraagt.

Het humusgehalte in de grond zonder pulp bedraagt 3,1%, zodat er (ook op de laagste stikstof-trap) een humustoename is. Deze bedraagt omgerekend in kg humus (bouwvoorgewicht geschat op 1,75 miljoen kg) en uitgedrukt in % van de organische stof in pulp (100 K<sub>1</sub>):

	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
toename in kg	5250	10500	15750	21000	26250
in % van o.s. in pulp	9	18	27	36	45

De trappen gaan steeds meer in de richting van, en de hoogste trap staat het dichtste bij, wat wij in het algemeen als normaal hebben leren beschouwen, n.l. een humificatie

gaande tot 35 à 40% van de toegediende organische stof gevolgd door enkele jaren afbraak met enkele procenten per jaar. Bij een wanverhouding tussen C en N blijft er echter veel minder over.

Het blijkt dus, dat de verhouding tussen C en N de hoeveelheid humus, welke uit een gegeven hoeveelheid organisch materiaal na enige jaren overblijft, beïnvloedt. Bij een materiaal rijk aan C en arm aan N zal dus voldoende N moeten worden toegevoegd, willen de parameters hun normale waarden blijven behouden.

Verwacht mag worden, dat in de natuur en in de praktijk wel steeds zodanige hoeveelheden C en N aanwezig zullen zijn, dat de wijzigingen, die de organische bemesting daarin aanbrengt, de verhouding niet ingrijpend zullen wijzigen. Vandaar de vrij grote uniformiteit in de waarden der parameters.

Echter is het verschijnsel van de stikstofhonger na de toediening van bepaalde stikstofarme organische materialen genoegzaam bekend. Het wordt o.a. opgemerkt bij stro en ongebroeide compost. Het blijkt thans samen te hangen met de hoeveelheid humus welke gevormd wordt uit dezelfde hoeveelheid organische stof.

Uit de reeks voor C/N (C toegediend in pulp en in totaal toegediende N) in verband met N valt af te leiden  $C/N = -0,08N + 104,2^1$ . Evenzo  $K_1 = +0,0018N - 0,882$ . Hieruit N eliminerende ontstaat  $K_1 = -0,0225 C/N + 1,4625$ . Nu is  $K_1 = 0$  als  $C/N = 65$  en  $K_1 = 1$  als  $C/N = 20$ . Er wordt niets gehumificeerd als  $C/N = 65$  en er is volledige humificatie als  $C/N = 20$ . Dit zijn waarden, die nog niet gegeneraliseerd mogen worden. Immers ook de grond is stikstofarm (3,1% humus waarin 2,6% N). Waar het hier gaat om aantastbare koolstof zijn de juiste hoeveelheden ter berekening van C/N in het algemeen niet bekend.

#### 4 BESPREKING

Wanneer papierpulp wordt toegediend in zodanige hoeveelheden, dat stikstofhonger ontstaat, dan hangt het af van de daarnaast ter beschikking gestelde hoeveelheden N (dus van C/N) hoeveel humus er gevormd zal worden. Bij meer N, dus lager C/N, is de hoeveelheid gevormde humus groter. Dit is een effect, dat tot uiting komt in  $K_1$ . Het mag verwacht worden, dat dit effect algemene geldigheid bezit.

Bij de in de praktijk gangbare hoeveelheden stikstof en organische meststof (welke laatste als regel ook zelf stikstof bevat) wordt hiervan niet veel gemerkt, daar de voorraden C en N in de grond (en hun quotiënt) er niet in belangrijke mate door veranderd worden.

In de meeste van de onder leiding van de schrijver staande proeven kan dit effect zich in het algemeen niet uiten, daar sinds enige jaren in de proeven met organische bemesting met als maatstaf voor de resultaten daarvan er overheen liggende stikstoftrappen, de laatste reeds sinds geruime tijd jaarlijks opnieuw verloot worden over de

<sup>1</sup> De reeks voor C/N wordt behandeld als rechte lijn, wat slechts bij benadering juist is.

veldjes. Dit laatste is gedaan met de gedachte het effect van de organische meststoffen niet te vertroebelen door een mogelijk cumulatief effect van de stikstof als zodanig, of anders uitgedrukt om de maat, waarmede het resultaat van de organische stof gemeten wordt, zuiver te houden. Het was toen nog niet bekend, dat er een interactie zou kunnen bestaan tussen de invloed van organische stof en van stikstof op de humusvorming. Dit feit moge te betreuren zijn, het is achteraf niet meer te veranderen.

Overigens blijken de wijzigingen in C/N in de behandelde proeven met niet al te stikstofarme gronden van onvoldoende grootte te zijn om sterke wijzigingen in de humusformule, in het bijzonder in  $K_1$ , teweeg te brengen mits geen in dit opzicht extreme organische meststoffen worden toegepast.

Het ligt in de lijn der verwachting, dat soortgelijke verschijnselen zich zullen voordoen bij andere uitzonderlijke organische produkten als zaagsel, stro, dennenaalden, hoogveenturf, e.d.

Een ander verschijnsel, opgemerkt bij stadsvuilcompost is, dat een eenmalige toediening nog jaren daarna zich uit in een hogere humushoeveelheid, gevormd uit wortels. Of dit berust op een voor de wortels geldende verhoging van  $K_1$ , of op een verhoging van  $y_1$  als gevolg van de uit de wortels geproduceerde humushoeveelheid, is nog niet bekend. Gelukkig is er een voldoende aantal proeven daterende van 1948, welke binnen ongeveer 10 jaar een afdoend antwoord op deze vragen zullen leveren.

Bij stadsvuilcompost doet zich ook het feit voor dat de in de compost aanwezige huisbrandkool bij analyse van de grond slechts voor een vierde wordt teruggevonden. Of dit te wijten is aan uitzeven van sintels vóór de analyse of aan aantasting is nog niet uitgemaakt. Dit verdwijnen, tezamen met het stimuleren van de humusvorming door compost maakt, dat de parameters normale waarden behouden indien voor  $x$  wordt uitgegaan van het totale gloeiverlies in compost, incl. de huisbrandkool.

Als algemene conclusie kan gesteld worden, dat ofschoon de meest gangbare vormen waarin organische stof aan de grond wordt aangeboden zich wat de waarden der parameters in de humusformule betreft binnen zo nauwe grenzen bewegen, dat hiervoor gemiddelden kunnen worden gehanteerd, er ook typen bestaan, die voor  $K_1$  en/of  $y_1$  afwijkende waarden opleveren. Het is zaak, deze afwijkingen vanuit algemene gezichtspunten te bezien en te onderzoeken, om te voorkomen, dat elk zich nieuw aandienend produkt volledig in studie genomen zou moeten worden met behulp van vele jaren vergende proeven. Er moeten dus testmethoden worden uitgewerkt.

## V DE HUMOSITEIT

Onlangs is door BENNEMA en VAN DER WOERDT (10) ingevoerd de naam humositeit. Zij verklaren, dat het begrip humositeit beter dan het humusgehalte, aansluit bij de landbouwkundige waardering van de humusvoorraad, omdat eigenschappen als gevoeligheid voor vertrapping, structuur, stevigheid van het profiel, gevoeligheid voor vertering, geschiktheid voor tuinbouwdoeleinden, enz. rechtstreeks samenhangen met dit begrip.

Hoewel deze studie slechts de kwantitatieve zijde van humusopbouw en humusafbraak betreft, zullen enige beschouwingen worden gewijd aan de uiteenzettingen van BENNEMA en VAN DER WOERDT inzake de wijze, waarop zij komen tot een waardering van de humus. Dit is gedaan, omdat de lijnen van gelijke humositeit bij variërend gehalte aan afslibbare delen welke zij verkrijgen, doen denken aan de lijnen welke het verband tussen humusgehalte en gehalte aan afslibbaar weergeven. Er werd dus nagegaan of zij samenvielen.

In de tweede plaats is het zinvol in dit laatste hoofdstuk enige aandacht aan de landbouwkundige waardering van de humus te wijden omdat daardoor verband gelegd wordt met de tweede vraag in par. 1 van hoofdstuk I gesteld, n.l. die inzake het verband tussen humusgehalte en produktiviteit. Deze vraag, welke onderwerp van een volgende studie zal vormen, behelst dus de betekenis van de parameters uit de humusformule voor de aan de humus toe te schrijven bodemvruchtbaarheid, thans aangeduid als de humositeit.

Het humositeitscijfer volgens BENNEMA en VAN DER WOERDT is een schattingscijfer.

Aan deze schattingscijfers wordt een schaal ten grondslag gelegd, welke aangeeft, bij welke humusgehalten gronden van uiteenlopende zwaarten in bepaalde *humositeitsklassen* vallen. Er wordt uitgegaan van de veronderstelling, dat het verband tussen humositeit en kleigehalte berust op het feit, dat de indruk van de humositeit wordt verkregen door de verhouding waarin de volumenpercentages humus en minerale delen incl. de in veldomstandigheden gebonden vochtthoeveelheden tot elkaar staan. Deze verhouding wordt uitgedrukt in

$$\frac{2,6 \times \% \text{ organische stof}}{0,9 \times \% \text{ slib} + 0,37 \times \% \text{ zand}}$$

(aannemende dat het s.g. van humus = 1, dat van minerale delen = 2,7, dat 1 gram humus in veldomstandigheden 1,6 gram water bindt, 1 gram slib 0,53 gram en zand niets en dat het door humus resp. slib gebonden water volledig en uitsluitend aan de volumina dezer beide bestanddelen wordt toegevoegd). Met behulp van deze formule wordt dan b.v. berekend, dat een grond bestaande uit 91 % zand en 9 % humus dezelfde humositeit bezit als een grond bestaande uit 82 % slib en 18 % humus.

Zoals gezegd, geeft het humositeitscijfer een landbouwkundige waardering van de humusgehalten. Hoewel BENNEMA en VAN DER WOERDT werken met veengronden met zeer hoge humuscijfers kan een dergelijke waardering ook voor de meer 'gewone' omstandigheden in akkerbouwgronden van belang zijn.

Bezien wij daartoe hun voorbeeld van het zand met 9 en de klei met 18% humus. Het zand zelf bevat  $9 : 0,91 = 10\%$  humus en de klei  $18 : 0,82 = 22$ . Het verschil is 12.

Dit is een waarde, die ligt in de orde van grootte van de verschillen aangegeven in de tabel op pag. 79. Daarom dringt zich vanzelf de vraag op, of niet de lijnen, welke het verband tussen slib en humus aangeven zonder meer lijnen van gelijke humositeit zijn.

Daar elk dezer lijnen ontstaat bij gelijke aanvoer van organische stof zal van het antwoord op deze vraag afhangen of voor gelijke bodemvruchtbaarheid gronden van verschillende zwaarte dezelfde voorziening met organisch materiaal moeten hebben of niet.

Zou blijken, dat de vraag bevestigend beantwoord moet worden, dan zou de humositeit berusten op het percentage niet-inerte humus. De lijnen van gelijke humositeit bij variërend slibgehalte zouden dan evenwijdig lopen, zoals in fig. 3 en 5. Bij BENNEMA en VAN DER WOERDT zijn deze lijnen divergerend zoals blijkt uit de door hen weergegeven fig. 16 en zoals ook af te leiden is uit de formule

$$\frac{2,6y}{0,9x + 0,37z} = k.$$

In deze formule is  $x$  slib,  $y$  humus,  $z$  zand en  $k$  een constante, terwijl  $z = 100 - x - y$ . Na omzetting ontstaat

$$y = \left(1,43 - \frac{3,72}{0,37k + 2,6}\right)x + \frac{37k}{0,37k + 2,6}$$

Hoe kleiner waarde  $k$  aanneemt, hoe zwakker de helling van de lijnen van gelijke humositeit wordt.

Een andere conclusie, welke volgt uit de formule van BENNEMA en VAN DER WOERDT is, dat in de hier beschouwde gronden (de minerale gronden) de lijnen van gelijke humositeit steeds zwakker hellen dan de humussliblijnen. Of, met andere woorden bij gelijkblijvende voorziening met organische stof zou de humositeit hoger komen te liggen naarmate de grond zwaarder is. Dit moge blijken uit de volgende voorbeelden.

Bij Pr. 1254 was in de uitgangstoestand  $y = 0,05x + 1,15$ . Bij 30% slib – de ondergrens in het betreffende materiaal – is het humusgehalte gelijk aan 2,65 en bij 60% slib – de bovengrens – 4,15. De humositeit volgens BENNEMA en VAN DER WOERDT is nu bij 30% slib

$$\frac{2,6 \times 2,65}{0,90 \times 30 + 0,37(100 - 30 - 2,65)} = 0,13.$$

Voor een gelijke humositeit bij 60% slib is nu het humusgehalte te berekenen volgens

$$\frac{2,6 \times y}{0,90 \times 60 + 0,37(100 - 60 - y)} = 0,13,$$



waaruit volgt  $y = 3,29$  of bijna een gehele eenheid lager, dan het humusgehalte in werkelijkheid is. De lijnen van gelijke humositeit volgen nu de formule  $y = 0,02x + p$ , zodat de hellingstangens (0,02) aanzienlijk kleiner is dan die van de humussliblijn (0,05).

Nemen wij de bovenste lijn in fig. 3, welke bij 20 resp. 60% slib humusgehalten van 5,6 en 8,8 te zien geeft ( $y = 0,08x + 4,-$ ). Bij 20% slib is de humositeit

$$\frac{2,6 \times 5,6}{0,9 \times 20 + 0,37 \times 74,4} = 0,32.$$

Bij 60% slib hebben wij nu voor gelijke humositeit

$$\frac{2,6 \times y}{0,9 \times 60 + 0,37 (40 - y)} = 0,32 \text{ of } y = 7,75,$$

dus wederom een eenheid lager dan de werkelijkheid (de lijnen van gelijke humositeit zijn  $y = 0,05x + p$ ). Hetzelfde geldt voor de andere evenwijdige lijnen van genoemde figuur. In de zwak hellende tak van de zuidelijke kleigronden zou bij 50% slib, om dezelfde humositeit te hebben als de gronden met 20% slib, het humusgehalte 3,2 moeten zijn, terwijl het 3,6 is. Dus zelfs hier geldt hetzelfde. En uiteraard is dit in veel sterkere mate het geval bij de sterk hellende tak boven 50% slib.

Steeds blijkt te gelden, dat volgens de formule van BENNEMA en VAN DER WOERDT bij zwaardere grond het humusgehalte, nodig om eenzelfde humositeit als in de lichtere gronden te verkrijgen, lager ligt dan bij een gelijke voorziening met organische stof in werkelijkheid ontstaat. Of met andere woorden: organische bemesting zou meer invloed hebben op de bodemvruchtbaarheidstoestand naarmate de grond zwaarder is.

Dit is in strijd met de ervaring. Deze komt in zeer geprononceerde vorm tot uiting in de mening van VAN RIEL (29). Deze zegt, dat op kleigronden door organische bemesting de vruchtbaarheidstoestand slechts kan worden verhoogd als er iets aan de grond ontbreekt (slecht ontwaterd, te weinig kalk, onvoldoende dikte, onvoldoend doorlatende ondergrond of minder ideale granulaire samenstelling) en dat organische bemesting geheel doelloos is als dit niet het geval is. Zoals men ziet, wordt de humus zelfs niet genoemd bij 'de vijf peilers, waarop de vruchtbaarheid van kleigronden berust'. Hoewel de mening van VAN RIEL hierin niet delende, geeft zij, afkomstig van iemand met veel ervaring in het gedrag van deze gronden, geen steun, evenmin als de eigen ervaring, aan de opvatting, dat eenzelfde voorziening met organische stof de vruchtbaarheid van zwaardere gronden meer zou verhogen dan die van lichtere.

Wordt deze opvatting verworpen, dan wordt daarmee tevens de juistheid van de humositeitsformule ontkend. Er blijft dan over de mogelijkheid, dat de humussliblijnen en de humositeitslijnen evenwijdig lopen (dus dat een humussliblijn tevens een lijn van gelijke humositeit is) of dat de tweede sterker stijgen dan de eerste.

In het eerste geval zou, daar het verband tussen humus- en slibgehalte bij gelijke voorziening met organische stof berust op het verband tussen de gehalten aan inerte humus en slib bij constante  $y_a$ , de humositeit geheel zijn toe te schrijven aan  $y_a$ , en daarmee los staan van de zwaarte van de grond. De inerte humus, die wel samenhangt met de zwaarte zou dan géén invloed hebben op de humositeit.

In het tweede geval zou bij gelijke voorziening met organische stof de vruchtbaarheid van de grond – althans voorzover deze aan de humus toe te schrijven is – lager liggen naarmate de grond zwaarder is. De inerte humus (en daarmee de zwaarte) heeft dan wel invloed. Deze invloed zou daarbij gedacht kunnen worden als een constante verhouding tussen  $y_z$  en  $y_t$  voor het ontstaan van gelijke humositeit en de humositeit zou op deze verhouding berusten. Dit is reeds een oude opvatting (SCHEFFER, vermeld in (15)).

Nader onderzoek inzake de invloed van de humus op de bodemvruchtbaarheid zal moeten uitwijzen, welke van de beide genoemde mogelijkheden de juiste is.

Werd in het voorgaande de juistheid van de humositeitsformule van BENNEMA en VAN DER WOERDT van de hand gewezen op grond van de onwaarschijnlijkheid van de lijnen van gelijke humositeit bij variërend slibgehalte welke eruit voortvloeien, er is ook nog een andere reden om de juistheid van die formule in twijfel te trekken. Deze betreft de variatie in de humositeit onder invloed van verschillende aanvoer van organisch materiaal bij een grond met een bepaalde zwaarte. Het humusgehalte verloopt daarbij volgens de humusformule; hieraan behoeft echter de humositeit niet parallel te lopen.

Voor een grond, waarin afslibbaar 20 en zand 80% van de minerale bestanddelen uitmaken levert de humositeitsformule voor van 0 tot 10 opklimmende humusgehalten de volgende humositeitswaarden:

Humusgehalte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Humositeit ( $\times 100$ )	0	5,5	11,1	16,9	22,8	28,8	34,9	41,1	47,5	54,0	60,7
Toename		5,5	5,6	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,4	6,5	6,7

De humositeit per toegevoegde eenheid humus zou dus steeds groter worden. Dat het sterker worden van de stijging in humositeit blijft doorgaan (tot 100% humus toe) is in strijd met de ervaring, daar als regel de invloed van een factor, bij intensivering daarvan, gaat afnemen (de wet van de verminderende meeropbrengsten). Aan dit bezwaar kan worden tegemoet gekomen door de formule als volgt te wijzigen:

$$H = \frac{100 \times 2,6h}{2,6h + 0,9s + 0,37z}$$

In deze vorm is de humositeit uitgedrukt als het door de humus ingenomen volumen in % van het totale volumen van de grond wederom bij het in veldomstandigheden gebonden water. De humositeitswaarden verlopen nu als volgt (bij slib en zand als boven).

Humusgehalte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Humositeit	0	5,2	10,0	14,4	18,5	22,3	25,8	29,2	32,3	35,2	37,4
Toename		5,2	4,8	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7

Nu heeft inderdaad elke toegevoegde eenheid humus een geringere verhoging van de humositeit ten gevolge dan de voorgaande. Echter ook nu blijft een bezwaar, dat elke volgende toevoeging (tot 100 % humus toe) een verhoging ten gevolge heeft. Men verwacht daarentegen, dat er ergens een optimum is, waarboven de invloed van verdergaande intensivering negatief wordt. Ook voor humus blijkt dit te gelden volgens de schaarse gegevens welke hieromtrent bestaan, zo bij FERRARI (39) en VISSER (vermeld in (26)). In deze gevallen lag het optimum bij gemiddeld 8 % humus. Dit resultaat was verkregen door gebruik te maken van de polyfactoranalyse, waarbij de invloed van het slibgehalte waar nodig was geëlimineerd. Dit betekent, dat bij zand (zonder slib) het optimale humusgehalte 8 bedraagt en bij kleigronden  $ms + 8$ , waarin  $s$  is het slibgehalte en  $m$  de hellingstangens van de evenwijdige humusslijblijnen (dus 0,08 in de 3 evenwijdige lijnstukken van fig. 3).

Al zal de kennis betreffende het verband tussen het humusgehalte en de invloed daarvan op de bodemvruchtbaarheid uitgebreid moeten worden, er is thans wel voldoende aanleiding om de humositeitsformule van BENNEMA en VAN DER WOERDT als hiervoor ondeugdelijk te beschouwen. Dit is het gevolg van het geen onderscheid maken tussen de verschillende vormen van humus ( $y_i$  en  $y_a$ ) door slechts te rekenen met het totale humusgehalte en van het slechts toekennen aan humus van een vochtbindende functie bij de beïnvloeding van de bodemvruchtbaarheid.

Daar de beschouwingen inzake humositeit door BENNEMA en VAN DER WOERDT niet zijn opgezet voor minerale gronden maar voor de humusrijke, zal ook voor deze gronden aan het begrip humositeit enige aandacht geschonken worden.

Het zou mogelijk zijn, dat de beide genoemde tekortkomingen voor deze gronden van minder of zelfs van geen belang zouden zijn. Hoewel voor de humusrijke gronden nog minder gegevens ter beschikking staan ter toetsing van de uitkomsten der formule aan de werkelijkheid dan voor de minerale, kan toch reeds nu gesteld worden, dat de vraag, of  $y_i$  te verwaarlozen is, aan twijfel onderhevig lijkt. Er wordt n.l. verwacht, dat in deze gronden, met hoog humusgehalte en met vaak extra sterke aanvoer van onderaf, na soms eeuwenlang doorgaande jaarlijkse afbraak van grote hoeveelheden humus juist een hoge  $y_i$  zal voorkomen.

Opvallend is, dat door de beide schrijvers, hoewel hun studie de irreversibele indroging van veengronden betreft en hun formule uitsluitend gebaseerd is op de binding van vocht, in hun formule geen rekening gehouden wordt met het verschil in vochtbindend vermogen van irreversibel ingedroogd veen en ander veen: voor elke vorm van organische stof wordt de vochtbinding gelijk genomen, en wel 1,6 gram per gram organische stof. In dezelfde publikatie (in deel I van HOOGHOUTD, VAN DER WOERDT en VAN DIJK, op pag. 15) wordt echter vermeld, dat de humus in irreversibel ingedroogd veen vrijwel inactief is en niet zwelt. Men zou dit irreversibel ingedroogde veen zelfs kunnen denken als een vorm van  $y_i$ .

Hun formule kan dus voor gronden met meer of minder irreversibel ingedroogde organische stof zeker geen stand houden. In humusrijke gronden, waarin de humus niet irreversibel is ingedroogd, lijkt het wel aannemelijk, dat de vochtbindende functie van

de humus de overige humusfuncties zodanig overheerst, dat een formule, uitsluitend gebaseerd op de vochtbinding een benaderend beeld van de werkelijkheid zou kunnen geven mits rekening gehouden zou worden met een eventueel voorkomen van  $y_1$ .

Als de formule van BENNEMA en VAN DER WOERDT wordt toegepast op een grond, waarin slib 20 en zand 80% van de minerale delen uitmaken, bij opklimming van de humusgehalten met 10 van 0 tot 100, dan ontstaat als humositeitswaarde

Humusgehalte	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Humositeit ( $\times 100$ )	0	61	137	234	364	546	819	1275	2185	4916	~
Toename		61	76	97	130	182	273	456	910	273	~

Deze uitkomst is nog minder aannemelijk dan die voor de minerale gronden gevonden: een stijging van de bodemvruchtbaarheid tot in het oneindige. Het is ook in strijd met de ervaring, dat de bodemvruchtbaarheid blijft stijgen en zelfs steeds sneller gaat stijgen bij de genoemde gehalten aan organische stof (men denke b.v. aan de bovenveen-cultuur).

Wordt evenals bij de minerale gronden gedaan is, de humositeit uitgedrukt als het percentage, dat het door de humus ingenomen volumen bedraagt van het totale volumen, alles bij de in veldomstandigheden gebonden vochthoeveelheden naar de door BENNEMA en VAN DER WOERDT daarvoor aangegeven coëfficiënten, dan ontstaan humositeitswaarden, welke doorlopend zwakker gaan stijgen tot zij uiteindelijk 100 bereiken. Dit is al een verbetering. Echter de tot 100% humus doorgaande stijging is nog altijd in strijd met de werkelijkheid. Er moet ergens een optimum liggen, waarboven een daling optreedt.

De humositeit kan dus nooit, ook niet met andere coëfficiënten, worden uitgedrukt in een breuk, waarvan teller en noemer lineaire functies zijn van het humusgehalte.<sup>1</sup> Of er een formule te bedenken valt met andere functies is niet te overzien wegens gebrek aan fundamentele kennis.

Voorshands lijkt de aangewezen weg om, evenals bij de minerale gronden, ook hier als maatstaf voor de humositeit, dus voor de aan humus toe te schrijven bodemvruchtbaarheid te nemen de hoeveelheid werkzame humus, dat is de totale voorraad humus verminderd met de inerte humus en in dit geval waarschijnlijk met irreversibel ingedroogde of op andere wijze onwerkzaam geworden humus.

Daar ook dit verschil niet bekend is wordt kennis hiervan nagestreefd.

<sup>1</sup> Dat dit ook voor de noemer het geval is, komt doordat de som van humus-, slib- en zandgehalte steeds 100 is. In het voorbeeld met van de minerale delen 20% slib en 80% zand, wordt de noemer  $0,9 \times 0,2 (100-h) + 0,37 \times 0,8 (100-h) = 47,6 - 0,476 h$ .

## VI SAMENVATTING EN CONCLUSIES

### HOOFDSTUK I THEORETISCH GEDEELTE

Als uitgangspunt werden zeer in het kort geschetst de opvattingen omtrent humus en organische stof in de periode voorafgaande aan het beschreven onderzoek. Daar deze opvattingen geen houvast gaven voor kwantitatieve beschouwingen, waarop uiteindelijk de te adviseren maatregelen op dit gebied moeten zijn gebaseerd, werd behoefte gevoeld aan exacte kennis. Als eerste stap in deze richting moest bekend zijn, hoe het humusgehalte samenhangt met de aanvoer van organische stof en hoe het te beheersen is.

De tevoren hieromtrent naar voren gebrachte formuleringen waren onjuist, met uitzondering van de formule van HÉNIN-DUPUIS. Deze kwamen – zij het hypothetisch – tot een bevredigende formule die echter, zoals later bleek, nog de aanvulling behoefde met een term voor de inerte humus.

Aan de hand van de studies van JENNY werd gedemonstreerd, dat binnen Nederland de invloed van variatie in klimatologische factoren niet van zeer veel belang is, maar dat toch het humusgehalte in het Noorden des lands ongeveer een halve eenheid hoger ligt dan in het Zuiden (onder overigens dezelfde omstandigheden). Als landelijk gemiddelde voor Nederland wordt 4% verkregen.

Op grond van een eigen onderzoek werd gekomen tot twee stellingen, n.l. dat van aan de grond toegevoegd organisch materiaal een vast percentage wordt gehumificeerd en dat van de humus in de grond jaarlijks een vast percentage wordt afgebroken. Deze beide stellingen voeren tot de 'humusformule'

$$y = y_m - (y_m - y_0)(1 - K_2)^t \quad \text{[I]}$$

waarin  $y$  = het humusgehalte

$y_m$  = het humusgehalte, dat bereikt wordt als eenzelfde voorziening met organische stof onbepaald lang wordt voortgezet, dus het uiteindelijk te bereiken evenwichtsgehalte.

$y_0$  = het humusgehalte, waarvan wordt uitgegaan bij het beginnen met de genoemde voorziening.

$K_2$  = de afbraakcoëfficiënt, d.i. het gedeelte van de humus in de grond, dat per jaar wordt afgebroken.

$t$  = de tijd in jaren.

Deze formule geeft aan, dat het humusgehalte zich steeds bevindt ergens tussen de begin- en eindtoestand, en dat de juiste plaats afhangt van de tijd, gedurende welke dezelfde voorziening met organische stof heeft plaats gehad.

In formule [I] is 
$$y_m = \frac{K_1}{K_2} x \quad \text{[II]}$$

Hierin is  $K_2$  dezelfde als in formule [I].

$K_1$  = de humificatiecoëfficiënt, aangevende dat gedeelte, dat van de aangevoerde organische stof in een jaar tot humus overgaat.

$x$  = de aanvoer.

(N.B.  $x$  en  $y$  moeten worden uitgedrukt in dezelfde maat, hetzij in absolute hoeveelheden, hetzij in gewichtsprocenten van de bouwvoor).

Formule [I] wordt voldoende benaderd door de factor  $(1 - K_2)^t$  te vervangen door  $e^{-K_2 t}$ , waarmede gemakkelijker gewerkt wordt. Met deze wijziging is de formule de integratie van  $dy/dt = K_2 (y_m - y)$ , wat identiek is aan het uitgangspunt van MITSCHERLICH voor zijn werkingswet.

Om de humusformule te kunnen hanteren, werd een methode uitgewerkt om een gegeven feitenmateriaal te vereffenen. Deze methode berust op het zoeken van de beste  $y_m$ . Is deze gevonden, dan zijn de beste  $K_2$  en  $y_0$  tevens bekend. Voorts wordt aangegeven, hoe bij een materiaal, bestaande uit meer objecten van de beste waarden voor de parameters per object gekomen kan worden tot beter bij het gehele materiaal passende waarden.

## HOOFDSTUK II TOETSING VAN DE THEORIE

Met behulp van de vereffeningsmethode werd de formule getoetst aan het daarvoor beschikbare materiaal. Het bleek, dat door middel van de humusformule een gegeven feitenmateriaal nauwkeurig kon worden beschreven, en dat de voorspelbaarheid bevredigend was mits formule [II] wordt geschreven in de vorm

$$y_m = \frac{K_1}{K_2} x + y_0 \quad \text{[III]}$$

waarin  $y_0$  is een voorraad aan inerte humus, die niet wordt afgebroken. Het quotient  $K_1/K_2$  krijgt daardoor een andere waarde.

De juistheid van de beide stellingen is daarmede bewezen. De formules [II] en [III] geven dezelfde  $y_m$  in de buurt van 4, het gemiddelde gehalte in Nederland, waarbij  $y_m = 20x$ . Deze vuistregel, dat de humusvoorraad gelijk is aan ongeveer 20  $\times$  de jaarlijkse aanvoer van organisch materiaal, is gemakkelijk hanteerbaar.

Omtrent de inerte humus is nog weinig bekend. Verwacht wordt, dat deze in klei en in zand van verschillend karakter zal zijn. Slechts in een van de behandelde gevallen kon de ware aard van  $y_0$  ontsluit worden. Dit betrof een esgrond. Hier bestond de inerte humus uit elementaire koolstof. Niet bekend is, of dit in alle zandgronden het geval is.

Van de parameters bleek vooral  $K_2$  weinig variabel te zijn en in het algemeen te liggen tussen 0,015 en 0,02, wat aangeeft, dat per jaar 1,5 à 2% van de voorraad aan actieve humus wordt afgebroken.

Voorts werd aangetoond, dat daar waar verschillende vormen van organische stof worden toegepast, hun werking op de humusvorming even groot is en bovendien

additief. Dit betreft de gebruikelijke vormen als wortelresten, stalmest en groenbemesting.

### HOOFDSTUK III TOEPASSING BIJ GRONDEN VAN VERSCHILLENDE ZWAARTE

Eerst werd het bekende verband tussen de gehalten aan humus en afslibbare delen nagegaan in de literatuur en in een eigen materiaal. Dit verband kon verklaard worden door aan afslibbaar en zand een eigen, constant humusgehalte toe te kennen, dat in afslibbaar gemiddeld 8 eenheden hoger ligt dan in zand. De juistheid hiervan werd aangetoond in een veldproef en in 2 andere experimenten. De eerste hiervan bestond uit het zelf samenstellen van gronden van verschillende zwaarten, de andere uit het splitsen van een kleigrond in fracties van (sterk) verschillende zwaarte. In beide gevallen werd nagegaan, hoe het humusgehalte verliep bij gelijke voorziening met organische stof. Bij splitsing blijft elk der fracties begeleid door de daarbij behorende humus, de inerte zowel als de actieve.

Gevonden werd, dat de lijnen, welke het verband tussen de gehalten aan humus en aan afslibbare delen weergeven, praktisch evenwijdig verplaatst worden bij wijziging in de voorziening met organische stof in verschillende vormen. Dit is allereerst een bevestiging van de additiviteit van de invloed op de humusvorming door de verschillende materialen. Voorts bewijst de evenwijdigheid, dat het verschil in humusgehalte tussen zand en slib slechts kan berusten op een even groot verschil in gehalte aan inerte humus tussen deze componenten, waarbij het quotiënt  $K_1/K_2$  (en waarschijnlijk elk van beide evenzeer) gelijk blijft. De verplaatsing van de humussliblijnen in verticale richting bij wijziging in de voorziening met organische stof geschiedt dus volgens de humusformule. Deze blijft gelijkelijk geldig bij wisselend slibgehalte (althans tussen 20 en 60% afslibbaar) slechts met verandering van  $y_1$ .

Het verschil tussen de totale en de inerte humus wordt nu aangeduid als  $y_a$  (actieve humus). Of  $y_1$  over het gehele slibtraject gelijk van karakter is, is onbekend. De humusfuncties moeten echter in de eerste plaats berusten in  $y_a$ .

### HOOFDSTUK IV TOEPASSING BIJ VERSCHILLENDE VORMEN VAN ORGANISCHE STOF

In de voorgaande hoofdstukken werd herhaaldelijk geconstateerd, dat de meest gebruikelijke vormen, waarin organische stof aan de grond wordt toegevoerd (zoals wortels en stoppels, stalmest, groenbemesting) zich gelijk gedragen ten aanzien van de humusvorming, d.w.z. dat in de waarden der parameters weinig – of wellicht in het geheel geen – wijzigingen optreden. Voorts bleek hun werking additief te zijn.

In dit hoofdstuk worden twee afwijkende materialen behandeld, t.w. stadsvuilcompost en papierpulp.

Bij de stadsvuilcompost werd geconstateerd, dat er jaren na een eenmalige toediening,

nog een stimulerende werking van uitgaat op de humusvorming uit de wortels der verbouwde gewassen, die afhankelijk is van de hoeveelheid compost. Hier treden dus, bij ongelijke hoeveelheden compost verschillen op in een of meer der parameters in de humusformule. Of dit ook optreedt in een grond met een 'normale' humusvoorraad (het werd n.l. geconstateerd bij de humusopbouw in glaszand), en bij regelmatige toediening is niet bekend. Het is ook niet bekend of het eveneens optreedt bij andere meststoffen, hoewel het eenmaal ook voor stalmest is geconstateerd.

Een andere merkwaardigheid van de stadsvuilcompost is, dat van de erin aanwezige huisbrandkool slechts een vierde gedeelte bij analyse van de grond wordt teruggevonden.

Papierpulp, die veel C en geen N bevat, is een koolstofrijk en stikstofarm produkt. Daardoor bleek het af te hangen van de toegevoegde hoeveelheid N, hoeveel humus er gevormd wordt. Ook hier treedt dus wijziging van waarden van parameters op, in elk geval van  $K_1$ .

Verwacht wordt, dat in de praktijk en in eenvoudige proeven met niet sterk uiteenlopende doseringen, hiervan niet veel gemerkt zal worden, en dat dus de waarden der parameters zich steeds binnen nauwe grenzen zullen bewegen.

## HOOFDSTUK V DE HUMOSITEIT

De humositeit is een maat voor de betekenis van humus voor de bodemvruchtbaarheid.

Indien het juist is, dat de humusfuncties in de eerste plaats berusten in  $y_a$  kan de formule voor de humositeit van BENNEMA en VAN DER WOERDT niet juist zijn. Volgens deze formule zou eenzelfde voorziening met organische stof bij hoger gehalte aan afslibbare delen een sterker invloed hebben op de humositeit dan bij lager. Dit wordt verworpen.

Het ligt voor de hand de actieve humus in de eerste plaats aansprakelijk te stellen voor de humositeit, waarbij de lijnen van gelijke humositeit en die voor het verband tussen de gehalten aan humus en aan afslibbare delen parallel moeten lopen. De mogelijkheid wordt echter opengelaten, dat de eerste sterker stijgen dan de laatste. Dit zou betekenen, dat bij gelijke voorziening met organische stof de humositeit lager zou zijn naarmate het gehalte aan afslibbare delen hoger is. Dit zou de mogelijkheid openlaten, dat de inerte humus in klei, die weliswaar niet afbreekbaar is, toch functies uitoefent, waarbij gedacht kan worden aan een invloed van de verhouding tussen actieve en inerte humus op de bodemvruchtbaarheid.

Hoe bij verschillende gehalten aan afslibbare delen het verloop van de humusgehalten (volgens de humusformule) en dat van de humositeit zich tot elkaar verhouden is niet bekend.

Een andere reden om de formule van BENNEMA en VAN DER WOERDT te verwerpen is, dat er volgens deze formule geen optimaal humusgehalte ten aanzien van de humositeit bestaat.



## CONCLUSIES

- 1 Er is een gehalte aan inerte humus in zand en in afslibbare delen, welke beide in de evenwichtstoestand constant zijn en waarvan het tweede groter is dan het eerste.
- 2 De voorraad aan actieve humus is afhankelijk van de aanvoer van organisch materiaal.
- 3 In een jaar tijd wordt van de aangevoerde organische stof 30 tot 40% gehumificeerd.
- 4 Van de bodemhumus wordt per jaar 1,5 à 2% afgebroken.
- 5 De conclusies 1 tot 4 gelden voor alle tot nu toe onderzochte gronden.
- 6 De conclusies 1 tot 5 gelden voor de meeste der tot nu toe onderzochte vormen, waarin organische stof wordt toegediend.
- 7 Slechts wanneer de vorm van de organische stof zodanig is, dat een zeer hoog C/N-quotiënt ontstaat, treedt wijziging op in de waarden der parameters.
- 8 Er zijn gevallen, waar van de meststof een stimulerende werking uitgaat, die eveneens de waarden van parameters wijzigt.
- 9 Verschillende onderdelen vereisen nog opheldering, niet alleen ter vermeerdering van fundamentele kennis maar ter wille van de betere hanteerbaarheid van de opgestelde formulering.
- 10 Het inzicht in het gedrag en de influenceerbaarheid van het humusgehalte is desondanks voldoende gevorderd om over te gaan tot de studie van het verband tussen het humusgehalte en het producerend vermogen van de grond.
- 11 De formule van BENNEMA en VAN DER WOERDT voor de humositeit is niet bruikbaar voor het in de voorgaande conclusie genoemde verband.

# ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

## KAPITEL I THEORETISCHER TEIL

Als Ausgangspunkt wurden sehr kurz die Auffassungen hinsichtlich Humus und organischer Substanz in der an der beschriebenen Untersuchung vorangehenden Periode skizziert. Weil diese Auffassungen quantitativen Betrachtungen, worauf letzten Endes die Beratung der Praxis basiert sein muss, keinen Anhalt gaben entstand das Bedürfnis nach exakter Kenntnis. Für den ersten Schritt in diese Richtung war es notwendig zu wissen wie der Humusgehalt zusammenhängt mit der zugeführten organischen Substanz und wie er zu regulieren ist.

Die zuvor in dieser Beziehung aufgestellten Formulierungen waren unrichtig mit Ausnahme der Formel von HÉNIN-DUPUIS. Diese kamen – wenn auch hypothetisch – zu einer befriedigenden Formel, welche aber, wie sich später herausstellte, noch der Ergänzung bedurfte mit einem Glied für den inerten Humus.

An Hand der Studien JENNY's wurde demonstriert, dass innerhalb der Niederlande der Einfluss der Variabilität der klimatologischen Faktoren nicht von grosser Wichtigkeit ist, aber dass dennoch der Humusgehalt im Norden des Landes etwa eine halbe Einheit höher liegt als im Süden (*ceteris paribus*). Als Landesmittel für die Niederlande wird 4% gefunden.

Auf Grund einer eigenen Untersuchung wurden zwei Thesen aufgestellt, nämlich dass ein fester Prozentsatz des dem Boden zugefügten organischen Materials humifiziert wird und dass jährlich ein fester Prozentsatz des Humus im Boden abgebrochen wird. Diese beiden Thesen ergaben die 'Humusformel'

$$y = y_m - (y_m - y_0) (1 - K_1)^t \quad [I]$$

worin  $y$  = der Humusgehalt.

$y_m$  = der Humusgehalt, der erreicht wird wenn dieselbe Versorgung mit organischer Substanz unbestimmt lange fortgesetzt wird, also der am Ende zu erreichende Gleichgewichtsgehalt.

$y_0$  = der Humusgehalt am Anfang der genannten Versorgung.

$K_1$  = der Abbaukoeffizient, das ist der Teil des Humus im Boden der jährlich abgebrochen wird.

$t$  = die Zeit in Jahren.

Diese Formel gibt an, dass der Humusgehalt sich immer irgendwo zwischen dem Anfangs- und dem Endzustande befindet, und dass der genaue Platz abhängt von der Zeit, während welcher dieselbe Versorgung mit organischer Substanz hat stattgefunden.

In der Formel [I] ist 
$$y_m = \frac{K_1}{K_2} x \quad [II]$$

Hierin ist  $K_2$  = derselbe als in Formel [I].

$K_1$  = der Humifikationskoeffizient; dieser gibt den Teil der zugeführten organischen Substanz an der jährlich in Humus übergeht.

$x$  = die Zufuhr.

(Nota Bene.  $x$  und  $y$  müssen in demselben Mass ausgedrückt werden, es sei in absoluten Mengen, es sei in Gewichtsprozenten der Krume).

Der Formel [I] wird genügend nahe gekommen indem man den Faktor  $(1 - K_2)^t$  ersetzt durch  $e^{-K_2 t}$ , womit bequemer zu arbeiten ist. Mit dieser Änderung ist die Formel die Integrierung von  $dy/dt = K_2 (y_m - y)$ , was dem Ausgangspunkt Mitscherlichs für sein Wirkungsgesetz identisch ist.

Um die Humusformel hantieren zu können wurde eine Methode ausgearbeitet um ein gegebenes Tatsachenmaterial auszugleichen. Diese Methode beruht auf das Suchen nach dem besten  $y_m$ . Ist dieser gefunden so sind die besten  $K_1$  und  $y_0$  gleichzeitig bekannt. Weiterhin wird angegeben, wie man bei einem Material, das aus mehr Objekten besteht, von den besten Werten für die Parameter pro Objekt kommen kann zu besser beim ganzen Material passenden Werten.

## KAPITEL II PRÜFUNG DER THEORIE

Mit Hilfe des Ausgleichungsverfahrens wurde die Formel geprüft am verfügbaren Material. Es stellte sich heraus, dass mittels der Humusformel ein gegebenes Tatsachenmaterial genau beschrieben werden konnte und dass die Vorhersagbarkeit befriedigend war unter der Bedingung, dass die Formel [II] geschrieben wird in der Form:

$$y_m = \frac{K_1}{K_2} x + y_1 \quad \text{[III]}$$

worin  $y_1$  ist ein Vorrat an inertem Humus, der nicht abgebrochen wird. Der Quotient  $K_1/K_2$  bekommt dadurch einen anderen Wert.

Die Richtigkeit der beiden Thesen ist damit bewiesen. Die Formeln [II] und [III] liefern denselben  $y_m$  in der Nähe von 4, dem mittleren Gehalt in den Niederlanden, wobei  $y = 20x$ . Diese Faustregel, dass der Humusvorrat etwa 20 mal der jährlichen Zufuhr organischen Materials gleich ist, ist leicht hantierbar.

Über den inerten Humus ist noch wenig bekannt. Erwartet wird, dass dieser in Ton und in Sand verschiedenen Charakters sein wird. Nur in einem der behandelten Fälle konnte die wahre Art des  $y_1$  entschleiert werden. Es handelte sich dabei um einen Escheboden. Hier bestand der inerte Humus aus elementärem Kohlenstoff. Nicht bekannt ist, ob dies in allen Sandböden der Fall ist.

Von den Parametern war besonders  $K_2$  wenig variabel und lag im allgemeinen zwischen 0,015 und 0,02. Das heisst, dass pro Jahr 1,5 bis 2% vom Vorrat an aktivem Humus abgebrochen wird.

Weiterhin wurde gezeigt, dass wo verschiedene Formen organischer Substanz angewendet werden, ihre Wirkung auf die Humusbildung gleich gross ist und ausserdem additiv. Das betrifft die gebräuchlichen Formen als Wurzelreste, Stallmist und Gründüngung.

### KAPITEL III ANWENDUNG AUF MINERALBODEN

Zunächst wurde in der Literatur und im eigenen Material der Zusammenhang nachgegangen zwischen Humusgehalt und Gehalt an abschlämmbaren Teilen (Ton). Dieser Zusammenhang konnte erklärt werden indem den abschlämmbaren Teilen und dem Sande ein eigener konstanter Humusgehalt zuerkannt wurde, der in den abschlämmbaren Teilen im Mittel um 8 Einheiten höher lag als im Sande. Die Richtigkeit davon wurde gezeigt an einem Feldversuch und an zwei anderen Experimenten. Der erste davon bestand aus der Herstellung von Böden verschiedener Schwere, der andere aus der Aufteilung eines Tonbodens in Fraktionen verschiedener Schwere. In beiden Fällen wurde nachgegangen wie der Humusgehalt verlief bei gleicher Versorgung mit organischem Stoff. Bei Aufteilung bleibt jede der Fraktionen begleitet vom dazu gehörigen Humus, dem inerten sowie dem aktiven.

Gefunden wurde, dass die Linien für den Zusammenhang zwischen Humus und Abschlämmbarem sich praktisch parallel verschieben bei Änderung der Versorgung mit organischer Substanz. Das ist zunächst eine Bestätigung der Additivität des Einflusses der verschiedenen Materialien auf die Humusbildung. Weiterhin beweist die Parallelität, dass der Unterschied in Humusgehalt zwischen Sand und Ton nur beruhen kann auf einen gleich grossen Unterschied in Gehalt an inertem Humus zwischen diesen Komponenten, wobei der Quotient  $K_1/K_2$  (und wahrscheinlich gleichfalls jeder von beiden) gleich bleibt. Die Verschiebung der Humus - Ton - Linien in vertikale Richtung bei Änderung der Versorgung mit organischer Substanz geschieht also gemäss der Humusformel. Diese bleibt in der gleichen Weise gültig bei wechselndem Tongehalt (jedenfalls zwischen 20 und 60% abschlämmbaren Teilen) nur mit Änderung des  $y_1$ .

Der Unterschied zwischen dem gesamten und dem inerten Humus wird nun angedeutet als  $y_a$  (aktiver Humus). Ob  $y_1$  über den ganzen Trajekt des Abschlämmbaren gleichen Charakters ist, ist unbekannt. Die Humusfunktionen müssen aber vom  $y_a$  erfüllt werden.

### KAPITEL IV ANWENDUNG BEI VERSCHIEDENEN FORMEN ORGANISCHER SUBSTANZ

In den vorangehenden Kapiteln wurde wiederholt konstatiert, dass die gebräuchlichsten Formen, worin organische Substanz dem Boden zugeführt wird (Ernterückstände, Stallmist, Gründüngung) sich hinsichtlich der Humusbildung gleich benehmen,

das heisst, dass in den Werten der Parameter wenig – oder vielleicht gar keine – Änderungen auftreten. Weiterhin erwies sich ihre Wirkung als additiv.

In diesem Kapitel werden zwei abweichende Formen behandelt, nämlich Stadtmüllkompost und Papierpulpe.

Bei Stadtmüllkompost wurde konstatiert, dass davon noch Jahre nach einer einmaligen Anwendung eine stimulierende Wirkung ausgeht auf die Humusbildung aus den Wurzeln der angebauten Gewächse, die abhängig ist von der Kompostmenge. Hier treten also bei ungleichen Kompostmengen Unterschiede auf in einem oder mehr Parametern der Humusformel. Ob dies auch auftritt in einem Boden mit einem 'normalen' Humusvorrat (es wurde nämlich konstatiert beim Humusaufbau in Glassand) und bei regelmässiger Anwendung ist nicht bekannt. Es ist auch nicht bekannt ob es gleichfalls auftritt bei anderen Düngemitteln, obwohl es auch einmal für Stallmist konstatiert wurde.

Eine andere Merkwürdigkeit des Stadtmüllkomposts ist, dass von der darin vorhandenen Hausbrennkohle nur ein vierter Teil zurückgefunden wird.

Die Papierpulpe, die viel C und keinen N enthält, ist ein kohlenstoffreiches und stickstoffarmes Produkt. Für diese Verhältnisse war es abhängig von der zugefügten N-Menge, wieviel Humus gebildet wird. Auch hier tut sich also Änderung der Werte der Parameter vor, jedenfalls des  $K_1$ .

Erwartet wird, dass man hiervon in der Praxis und in einfachen Versuchen mit nicht stark auseinandergehenden Dosierungen nicht viel merken wird, und dass also die Werte der Parameter sich stets innerhalb enger Grenzen bewegen werden.

## KAPITEL V DIE HUMOSITÄT

Die Humosität ist ein Mass für die Bedeutung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit.

Wenn die Humusfunktionen wirklich in erster Linie in  $y_a$  lokalisiert sind so kann die Formel für die Humosität nach BENNEMA und VAN DER WOERDT nicht richtig sein. Nach dieser Formel würde nämlich dieselbe Versorgung mit organischer Substanz bei einem höheren Tongehalt des Bodens einen stärkeren Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit haben als bei einem niedrigeren. Dies wird abgelehnt.

Es liegt auf der Hand an der ersten Stelle den aktiven Humus verantwortlich zu stellen für die Humosität. Dabei laufen die Humus-Ton-Linien und die Linien gleicher Humosität parallel. Die Möglichkeit muss aber offengelassen werden dass die ersten stärker steigen als die letzten, dass also bei gleicher Versorgung mit organischer Substanz die Humosität niedriger ist je höher der Tongehalt ist. In diesem Fall würde es möglich sein, dass der inerte Humus im Ton, welcher zwar nicht abbaubar ist, trotzdem irgendwelche Funktionen ausüben könnte, wobei sich ein Einfluss des Verhältnisses zwischen aktivem und inertem Humus denken liesse.

Wie bei jedem einzelnen Tongehalt der Verlauf der Humusgehalte (nach der Humusformel) und der Humosität sich gegenseitig verhalten ist nicht bekannt.

Ein anderer Grund für die Ablehnung der Formel nach BENNEMA und VAN DER WOERDT, ist, dass diese Formel für die Humosität keinen optimalen Humusgehalt ergibt.

### SCHLUSSFOLGERUNGEN

- 1 Es gibt einen Vorrat an inertem Humus in Sand und in Ton, welche beide im Gleichgewichtszustand konstant sind und wovon der zweite der grössere ist.
- 2 Der Vorrat an aktivem Humus ist abhängig von der Zufuhr organischen Materials.
- 3 In einem Jahre wird von der zugeführten organischen Substanz 30 bis 40% humifiziert.
- 4 Vom Bodenhumus wird jährlich 1.5 bis 2% abgebrochen.
- 5 Die Schlussfolgerungen 1 bis 4 gelten für alle bis jetzt untersuchten Böden.
- 6 Die Schlussfolgerungen 1 bis 5 gelten für die meisten der bis jetzt untersuchten Formen, in denen organisches Material zugeführt wird.
- 7 Nur bei einer solchen Form der zugeführten organischen Substanz, wobei ein sehr hoher C/N-Quotient entsteht, tritt Änderung der Parameterwerte auf.
- 8 Es gibt Fälle wo vom Düngemittel eine stimulierende Wirkung ausgeht, die gleichfalls die Parameterwerte ändert.
- 9 Mehrere Einzelteile erfordern noch Aufklärung, nicht nur zur Vermehrung der fundamentalen Kenntnis sondern auch zur besseren Hantierbarkeit der Humusformel.
- 10 Die Einsicht in das Verhalten und die Beeinflussbarkeit des Humusgehalts ist trotzdem genügend vorgeschritten um überzugehen zum Studium der Zusammenhänge zwischen Humusgehalt und dem Produktionsvermögen des Bodens.
- 11 Die Formel nach BENNEMA und VAN DER WOERDT für die Humosität ist hierfür nicht brauchbar.

# LITERATUUR

## A. Organische stof en humus

1. BARBIER, G., Das Humusproblem. Kali-Briefe, juli 1953.
2. BINGEMAN, C. W., J. E. VARNER and W. P. MARTIN. The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an anorganic soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17 (1953) 34-38.
3. BUWALDA, K. De organische stofvoorziening van het akkerbouwbedrijf. *Landb. Voorl.* 169 (1959) 527-530.
4. CREMER, L. C. N. DE LA LANDE. Het stalmest- en gierbemestingsonderzoek op bouw- en grasland in Nederland tussen 1900 en 1952. Intern rapport van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen 1953.
5. FERWERDA, J. D. Over de werking van stalmest op bouwland I en II. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 57. 13 (1951) en 57. 16 (1951).
6. GROOTENHUIS, J. A. De invloed van stalmest en de verbouw van stoppelgewassen op de gewasopbrengsten, het humusgehalte en het magnesiumgehalte van oude esgrond. *Maandbl. Landb. Voorl.* 85 (1951) 198-206.
7. HARDON, H. J. Factoren, die het organische stof- en het stikstofgehalte van tropische gronden bepalen. *Landbouw* 11 (1935/36) 517-538.
8. HÉNIN, S., M. DUPUIS. Essai de bilan de la matière organique du sol. *Ann. Agron.* 15 (1945) 17-29.
9. HÉNIN, S., G. MONNIER, L. TURC. Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 248. 1 (1959) 138-141.
10. HOOGHOUTD, S. B., D. VAN DER WOERDT, J. BENNEMA en H. VAN DIIK. Verdrogende veengronden in West-Nederland. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 66. 23 (1960).
11. HUDIG, J., N. H. SIEUWERTSZ VAN REESEMA. Het probleem van de stabiliteit der humusstoffen. *Landbk. Tijdschr.* 52 (1940) 371-398, 529-576, 577-634, 882-886.
12. JENNY, H. The nitrogen content of the soil as related to the precipitation-evaporation ratio. *Soil Sci. XXIV* (1930) 193-206.
13. JENNY, H. A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil. *Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 152 (1930).
14. JENNY, H., S. P. GESSEL, F. T. BINGHAM. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci.* 68 (1949) 419-432.
15. KORTLEVEN, J. Richtlijnen van het compostonderzoek. *T.N.O.-Nieuws* 4. 35 (1949) 85-93.
16. KORTLEVEN, J. De waarde van „stadscompost” als organische meststof. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 56. 5 (1950).
17. KORTLEVEN, J. Stabiele humus en de interprovinciale calha-humusproeven. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 56. 12 (1950).
18. KORTLEVEN, J. Veldproeven met stabiele humus  $x_2$  in 1952. Intern verslag van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen 1953.
19. KORTLEVEN, J. Slibbemesting. Intern verslag van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen 1954.
20. KORTLEVEN, J. Le problème de l'humus et de l'emploi rationnel des engrais minéraux. *Bull. du Centre International des engrais chimiques* no. 2 (numéro spécial) décembre 1954.
21. KORTLEVEN, J. De invloed van bekalking op het humusgehalte. *Landbk. Tijdschr.* 67 (1955) 33-44.
22. KORTLEVEN, J. Utilisation d'ordures ménagères, expériences faites aux Pays-Bas dans le domaine de l'Agriculture. *Rev. Suisse Hydr.* XVII 2 (1955).
23. KORTLEVEN, J. Proeven met stadsvuilcompost I. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 62. 12 (1956).
24. KORTLEVEN, J. Een onderzoek naar de landbouwkundige waarde van de afvalpulp der papierindustrie. Intern rapport van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen 1960.
25. KORTLEVEN, J. De organische stofvoorziening van het akkerbouwbedrijf. *Landb. Voorl.* 17.6 (1960) 284-287.

26. KORTLEVEN, J. De betekenis van organische bemesting voor grond en gewas. Bodemkunde, Uitgave Ministerie van Landbouw en Visserij, Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage (1961) 67-75.
27. KORTLEVEN, J., en H. PUL. De voorziening van de grond met organische stof voorheen en thans. *Landbk. Tijdschr.* 66 (1954) 90-98.
28. MEYER, C. Het humusgehalte van de grond. *Landbk. Tijdschr.* 53 (1941) 345-367.
29. RIEL, J. A. VAN. Het probleem van de bodemvruchtbaarheid. *De Nieuwe Veldbode* 16. 4 (1949).
30. SALTER, R. M., T. C. GREEN. Factors affecting the accumulation and loss of nitrogen and organic carbon in cropped soils. *J. Amer. Soc. Agric.* 25 (1933) 622-630.
31. SAUERLANDT, W., E. GROETZNER. Untersuchungen über organisch gebundenen Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden. *Zeitschr. Pfl. Ern. D. Bodenk.* 63 (108) I (1953) 142-149.
32. STIELTJES, D. Vijfentwintig jaar stalmest-kunstmest. *De Boerderij* 18/25 november 1936, 20/27 januari 1937.
33. VOS VAN STEENWIJK, C. DE. De betekenis van de afvalpulp der papierindustrie ter verhoging van het waterhoudend vermogen van humusarme, zeer droogtegevoelige zandgronden. *Landbk. Tijdschr.* 65 (1953) 277-286.
34. WELTE, E. Humus und Klima. *Zeitschr. Pfl. Ern. D. Bodenk. Festschrift* 46/91 (1949) 244-278.
35. WIGGERS, A. J. De gehalten aan organische stof in Nederlandse gronden. *Landbk. Tijdschr.* 62 (1950) 455-468.
36. WISSELINK, G. J. Een vijftienjarige proef met stalmest en stoppelgewassen op humeuze zandgrond te Heino. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 66. 17 (1961).
37. WOODRUFF, C. M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter decomposition as reflected by Sanborn field. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1949, 14 (1950) 208-212.
38. Antwoordnota no. 24 door de Minister van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening 1 juli 1953 ingezonden aan de Tweede Kamer der Staten Generaal bij de behandeling der Rijksbegroting 1953 Hoofdstuk XI (zitting 1952/53 - 2800).

#### B. Landbouwwetenschappen algemeen

39. FERRARI, TH. J. Een onderzoek over de stroomrugggronden van de Bommelerwaard met als proefgewas de aardappel. Proefschr. Wageningen 1952.
40. GINNIKEN, P. J. H. VAN. Beschrijving van de groei van suikerbieten. *Meded. Inst. Suikerbieten-teelt V* (1935) 167-233.
41. KOORNNEEF, H. De bodemgesteldheid van Niervaart, Zwaluwen en omstreken. Alg. Landsdrukkerij (1946).
42. KORTLEVEN, J. Is de theorie van Mitscherlich in alle opzichten te aanvaarden? *Landbk. Tijdschr.* 42 (1930).
43. MASCHHAUPT, J. G. Onderzoekingen in het Dollardgebied. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 54.4 (1948).
44. MASCHHAUPT, J. G. Resultaten verkregen bij het onderzoek der Groninger klei- en zavelgronden. Alg. Landsdrukkerij (1943).
45. MITSCHERLICH, E. A. Ertragsgesetze. Akademie Verlag Berlin 1956.
46. MITSCHERLICH, E. A. Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. Paul Parey, Berlin 1923.
47. VRIES, O. J. DE, F. J. A. DECHERING. Grondonderzoek. Hoitsema, Groningen 1948 en 1961.

#### C. Diversen.

48. DUYFF, J. W., E. M. BRUINS. The significance of the sigmoidal shape of the metazoan growth curve. *Arch. Neerl. de Physiol. T.* XXVI (1942).
49. HEUX, J. W. N. LE. De groeikromme. Kluwer, Deventer 1946.
50. OSTWALD, W. Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Leipzig 1896-1902.
51. ROBERTSON, T. B. On the normal rate of growth of an individual and its biochemical significance. *Arch. J. Entw. Mechanik* 25.4 (1908) 581-614.
52. UVEN, M. J. VAN. Mathematical treatment of agricultural and other experiments. Noordhoff, Groningen 1946.
53. VENEKAMP, J. T. N., G. HAMMING, G. J. VERVELDE. A 4<sup>3</sup> factorial design with confounding in 8 × 8 quasi-latin squares. *Landbk. Tijdschr.* 64 (1952) 325-327.